

ISSN 0387 - 1339

富山大学工学部紀要

第49卷

Bulletin of
Faculty of Engineering
Toyama University

Vol. 49

1 9 9 8

目 次

1. 冬季雷の音響的研究
－雷鳴波形から雷放電路の解明へ－
……………西村 充, 酒井英徳, 浅井貴浩, 北村岩雄, 村井忠邦, 池田長康…… 1
2. 水滴落下時における絶縁破壊現象の観察と測定
……………南部公孝, 北村岩雄, 村井忠邦, 池田長康…… 9
3. 雷雲の電氣的構造シミュレーション実験
－帯電霧と水滴の電氣的相互作用, 二重層帯電霧における電界変化－
……………松田正樹, 七野公介, 北村岩雄, 池田長康, 酒井 勉, 若井武夫*…… 15
4. 多足歩行ロボットのシーケンス制御
……………阪本 猛, 中田克圭, 北村岩雄, 松田秀雄, 池田長康…… 23
5. 反強誘電性液晶表示素子における中間調表示方法の一考察
－分極反転電荷量-光透過度特性－
……………石渡高士, 岡田裕之, 女川博義…… 29
6. 五目並べプログラムの基礎研究
……………松田秀雄, 澤柳一美, 宮腰 隆, 山淵龍雄, 中嶋芳雄…… 33
7. 認知の能動性に関する予備研究
……………北林行雄, 郭 立新, 黒田靖子, 加藤ジェーン, 川田 勉, 中山 剛…… 43
8. 仮想空間内操作における力覚表現システムの検討
……………郭 立新, 北林行雄, 黒田靖子, 加藤ジェーン, 川田 勉, 中山 剛…… 49
9. ハイポイドギヤの歯切り段取りの厳密化
……………桐 昭弘, 米林順也*, 稲谷正志, 伊藤紀男…… 57
10. 多気筒機関のバランスに関する研究 (1)
……………桐 昭弘, 服部 功, 伊藤紀男…… 65
11. 過飽和溶液中での結晶成長に伴う二重拡散対流
……………前田知子, 城石昭弘*, 山根岳志, 吉田正道, 宮下 尚…… 77
12. 平成8年度修士・博士論文概要一覧 …………… 85

冬季雷の音響的研究

—雷鳴波形から雷放電路の解明へ—

西村 充, 酒井 英徳, 浅井 貴浩,
北村 岩雄, 村井 忠邦, 池田 長康

Acoustic study of winter thunder

—For analysis on lightning discharge path from the acoustic thunder signal.—

Mitsuru Nisimura, Hidenori Sakai, Takahiro Asai,
Iwao Kitamura, Tadakuni Murai, Nagayasu Ikeda

Winter lightning in Hokuriku area called one shot lightning has different features from summer lightning. The thundercloud in winter is very low in its height and very wide in extend area and it has very large energy in comparison with that of the summer one. The object of this study is to examine the position and its extent area from acoustic thunder sound and is also to know numbers of branches within lightning discharge from the wave from of the acoustic signal. Two simple models for total discharge area and for the discharge detail figures are presented. The measured signal of thunder is compared with the results from the simple model.

キーワード：雷，雷雲，雷鳴，落雷，冬季雷，雷放電路，音響

1. 目 的

冬の日本海側でも特に、北陸地方で雪の激しく降っている時等に発生する自然現象に「ブリおこし」とか「雪雷」と呼ばれる冬季特有の雷がある。最近では停電事故の大半が落雷に起因するので電力会社に於いては、高度情報化社会での信頼性を維持する上で、雷対策は極めて重要な課題である。特に、この冬季の雷は次のような特徴がある。すなわち、1) 空の視覚的な状況等からは全く発生が予測できない。2) 一発雷と呼ばれ昼夜関係なく突然落雷する。3) 落雷時のエネルギーが非常に大きく夏の雷の数百倍にも達する。4) 夏に比べ雷雲の位置が非常に低い。5) 雷雲は地平方向に広い範囲で分布するなどである。このため現在も莫大な被害を被っている。現在、これらの雷放電の研究はカメラを使った光学的方法や、電磁波による測定等が行われてはいるが、発生位置や時間は未だに不明確である。しかも同時に複数の放電が発生することも多く、相当困難である。しかし、冬季雷における特徴の4)と5)を逆に利用した本研究は、雷の放電範囲とその形や場所等が簡単な装置で確実に特定できる可能性がある。また、そのデータから雷の大きさや放電の間欠性、地理的特徴等との関連性の解析を進めることで、巨大なエネルギーを放出する冬季雷の構造解明にも役立つものと考えている。

この論文前半は雷鳴の測定波形の多点観測により、放電範囲を大局的に把握する方法の研究を説明し、後半では測定波形の形状より詳細な放電路の推定可能性について述べる。

2. 雷道範囲推定原理

冬季雷における雷道と雷鳴伝搬経路の模式図を図1に示す。同図では鉄塔に落雷した場合の様子を示しており、観測点をB、落雷点をP、観測点から近い方の放電端をX、遠い方をY、またそれぞれの距離を L_{bx} 、 L_{by} としている。北陸地方の冬季雷雲は強い季節風の影響で、水平方向に数kmから10km程度の非常に広範囲にのびた200mから300m程度の高度の低い帯電雲塊からなっていると考えられており、したがって、冬季雷は広い範囲から電荷を集めた水平の放電路からなると推定される。それ故、この放電路の雷道モデルとして、近似的に高さ方向を無視した平面的な分岐だけを持つ2次元的構造をもつと考えることが可能であろう。以後の解析では簡単のため、雷雲の高さを無視した2次元的雷放電を考えてゆくことにする。

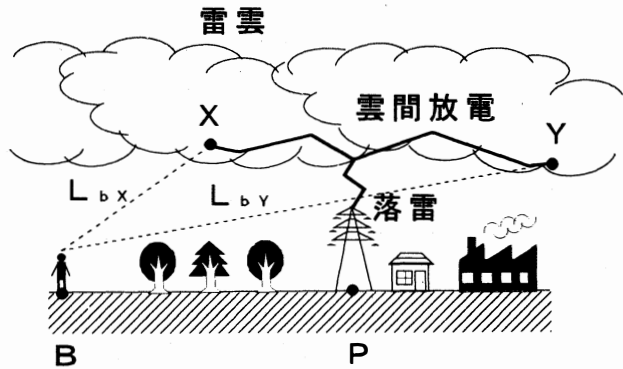


図1 雷鳴伝搬模式図

落雷時の音響的なメカニズムを図2のような仮想地域の上空平面図と、図3のような観測波形図を用いて説明する。いま図2において雷が太い3本の実線部分を放電しながらP点で地上に落雷したとする。このような放電により落雷した雷はA、B、Cの3地点で、その雷鳴音を同時に収録すると、各観測点では図のように放電路との距離により音がそれぞれ遅れて記録される。

ここでC点の観測波形について説明すると、雷鳴検出開始している点T1は波線円(内円)上の音であり、雷鳴検出終了した点T2は実線円(外円)上の音である。このように雷鳴は内円と外円の間のすべての放電路から雷鳴が各観測地点に届くことになる。したがって、この内円と外円の間に雷鳴を発生させた放電路があることになる。

ここでC点の観測波形について説明すると、雷鳴検出開始している点T1は波線円(内円)上の音であり、雷鳴検出終了した点T2は実線円(外円)上の音である。このように雷鳴は内円と外円の間のすべての放電路から雷鳴が各観測地点に届くことになる。したがって、この内円と外円の間に雷鳴を発生させた放電路があることになる。

従って、A、Bの2地点でも同様の作業を行い同一地図上に示せば、各同心円間の雷鳴発生推定範囲

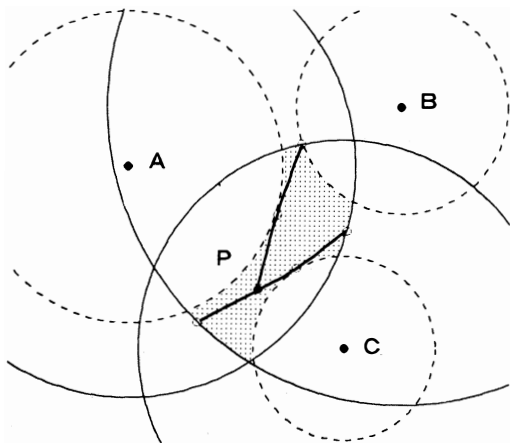


図2 上空平面図

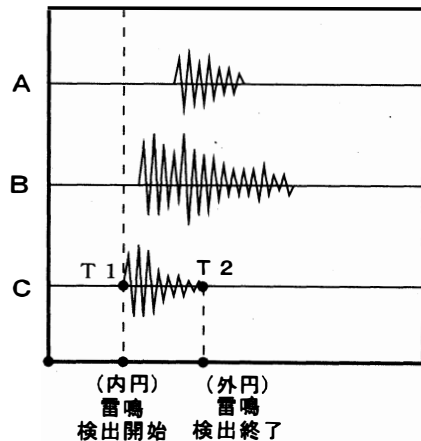


図3 観測波形図

図が重なった、塗りつぶした部分が、一回の雷で発生した全ての放電路を包含した範囲となる。

このようにA, B, Cの3地点に雷鳴波形を記録できる装置を設置しておけば、雷が発生した直後にこのような放電範囲の推測図を作成することが出来る。なお、観測場所が多ければ、それだけ正確な放電範囲を割り出すことが可能となる

3. 観測システム

雷鳴観測装置のブロック図を図4に示す。フォトトランジスタの光検出センサーにより、閃光信号を電気信号にし、さらにオペアンプを使った閃光信号増幅回路により増幅し、記録計を動作させるトリガー信号とする。一方、全天候型コンデンサマイクロホンで捉えた雷鳴信号を、オペアンプによる

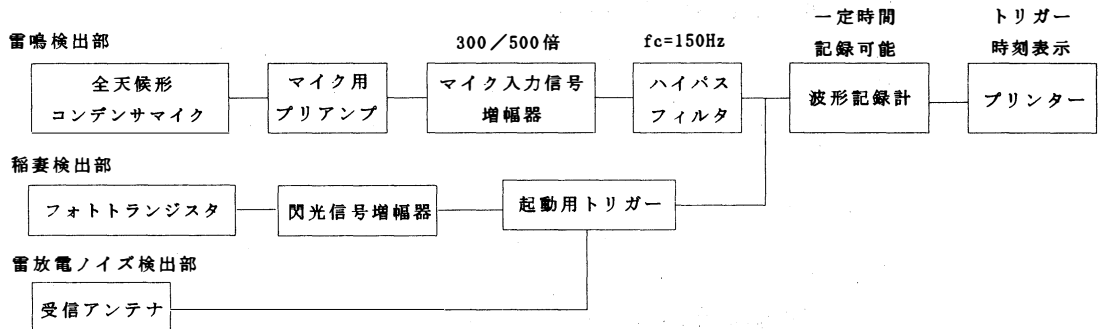


図4 自動雷鳴観測装置ブロック図

増幅回路により増幅し、ハイパスフィルタを通し記録計に一定時間記録する。この記録により前章で述べた原理に従って放電範囲推測図を作成する。

また、日中は雷放電からの強い電波を受信アンテナで拾い記録計を始動させる。この記録計は一定時間動作する機能等を利用して1分20秒連続記録させる。またほかの装置間とで同一の雷を識別するために、プリンターにはトリガー発生時間を同時に記録させておく。マイクの集音特性は無指向性として風の音や雨対策を充分行っている。更に雷鳴以外のノイズを減らし時間分析を容易にするために、記録計自体のローパスフィルタの機能とハイパスフィルタにより、バンドパスフィルタとして用いている。バンドパスの範囲は150Hzから500Hzとしている。現在はこの装置は富山大学工学部とこれより約5 km離れた稲荷元町の2ヶ所に設置して自動観測をしている。

4. 観測結果

4.1 観測波形

図5には1996年12月23日午前4時53分に実際に記録された2地点での観測波形の例を示す。

この波形により図2と同様な放電範囲推測図を作成する。まず富山市稲荷元町で記録された波形から解析すると、最初に雷鳴が届きその音が記録される時間をT1, そして雷鳴の音が消える時間をT2とする。ここでの実際のT1, T2の値は図の波形から読みとると、 $T1 = 2.4$ 秒, $T2 = 13.6$ 秒となっている。これにより、観測点から近い方の放電端までの距離L1, すなわち図3における波線円(内円)の半径と、観測点から遠い方の放電端までの距離L2, 実践円(外円)の半径を求めると、

音速を331m/sとして、L1, L2はそれぞれ0.79km, 4.5kmとなる。

同時に観測された富山大学の波形から同様にして、最初に音の記録される時間T1 = 3.3秒、そして音の消える時間T2 = 19.3秒より、L1, L2はそれぞれ1.1km, 6.4kmとなる。

これをもとに放電範囲を推測すると、図6に示すようになる。

このときに観測された雷の放電路は、各々の二重円の重なっている斜線を引いた部分で発生したものと考えられる。

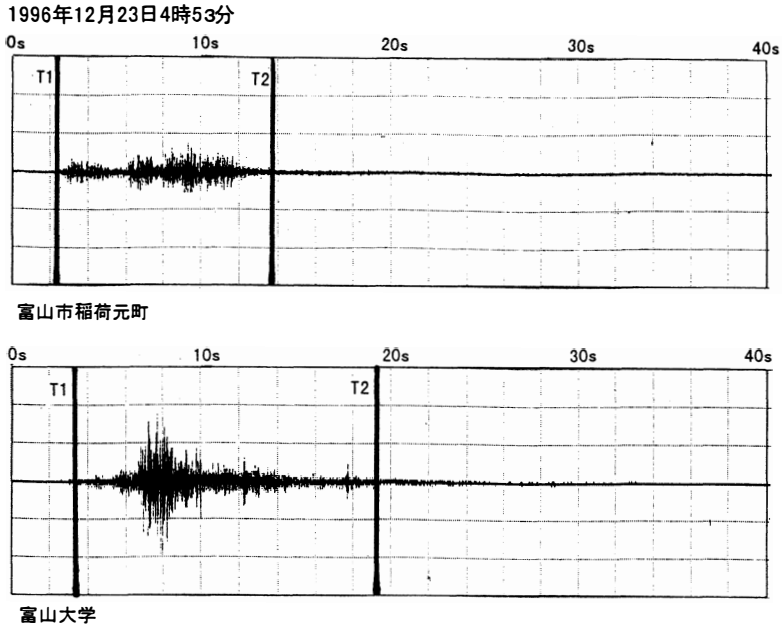


図5 2地点での雷鳴の観測

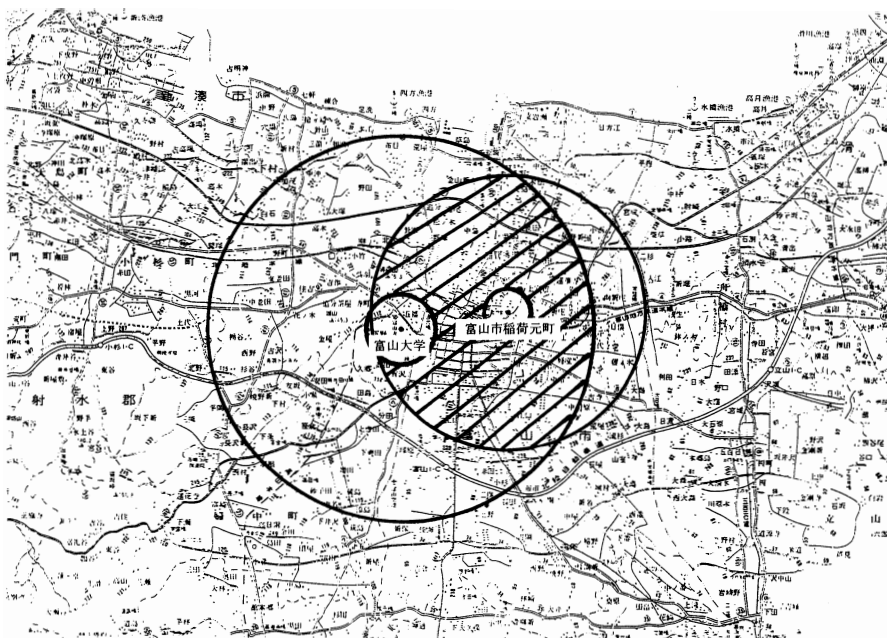


図6 実際に予想される放電範囲

4. 2 2次元モデルによる誤差

この測定では雷雲の高さが非常に低いと言うことで、雷放電路の高さを無視して考えているが、この誤差について考える。右図のようなモデルで考えると、観測点をC、放電点をX、放電点から地上へ降ろした垂線と地表との交点をX'、観測点からlの距離にあり地表と交わる点をX''、観測点から放電点までの距離をl、放電点の高さをh、誤差をaとする。高さを無視して考えた場合、観測結果による放電点の距離はlとなるので見かけ上はX''に放電点があるように見えるが、実際に地図に放電点の位置を示すとX'となるはずである。従って、高さを無視した場合の誤差aは

$$a = l - \sqrt{l^2 - h^2}$$

となる。

ここで実際に雲高の値hを0.3kmから4.0kmまで動かして、観測点から放電端までの距離を変化させた場合の誤差aを求めると、図8のようになる。この図から放電点の位置が高いと当然誤差の値も大きくなるが、冬季雷の雲底の高さである0.3kmにおける誤差の値はごく小さく、無視でき、2次元モデルで十分であることが分かる。

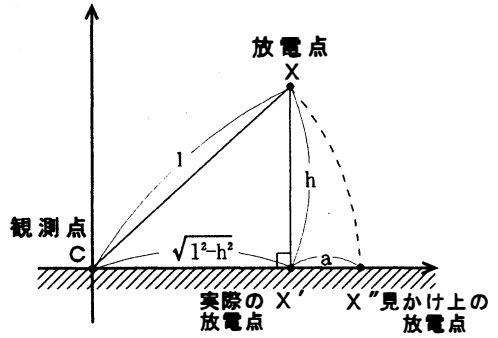


図7 高さを考慮に入れた場合の誤差

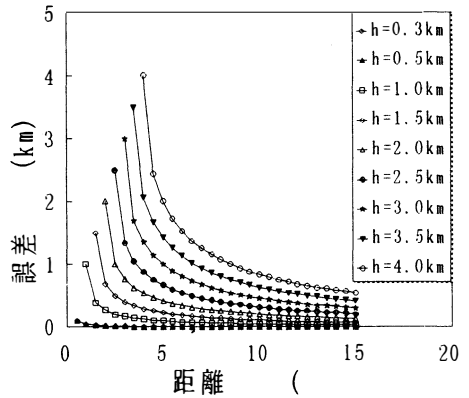


図8 誤差の変化

5. 雷鳴波形解析

5. 1 放電路推定原理

図5のように実際に観測した波形はいくつかの強度をもつグループに分かれており、特徴を持っている。この波形の特徴から放電路の特徴を抽出出来るのではないかと波形解析を試みた。

音波が伝搬する過程において伝搬損失は拡散損失と減衰損失との和として考えられる。拡散損失は音源から音波が拡散するにしたがって、音波が一定の割合で減少する幾何学的効果である。減衰損失は音波が伝搬過程での媒質による吸収や散乱の効果を含んでいる。自然界における伝搬損失は伝搬の多様性による効果である。

最も簡単な状態として、音波の伝搬過程において伝搬損失は拡散損失のみとし、減衰損失を考慮に入れないものとする。放電路から発生する音波は放電路上の各点からは一定の音波（正確には音圧の波）が同時に発生するものとする。また音速は一定とする。この放電路からの音波は(1)で表される進行波となる。

$$P = \frac{1}{r} f \left[t - \frac{r}{c} \right] \quad (1)$$

Pは音圧で、rは距離、cは音速である。この音波の拡散損失は放電路からの距離rに反比例して減衰する。

この雷鳴拡散モデルをもとに、様々な放電路を模擬的に作り、その雷鳴波形を求める。これにより

実際に観測された雷鳴波形から放電路の形状を逆問題として推定することが可能ではないかと調べた。

5. 2 放電路の形状による雷鳴波形

5. 2. 1 放電路が直線状の場合

図9に示す直線状放電路の場合、観測点から最も近いO点からの音が τ_1 の時間を経過して最初に観測点に届き、音の減衰も小さいため、最初に観測点に届く音O点の大きさは最も大きく、観測点から最も離れた放電路のB点からの音は τ_2 の時間を経過して観測点に届き、音の減衰も大きくなり、音の大きさは最も小さくなる。このように考えれば雷鳴は図10に示すような波形が観測できると考えられる。

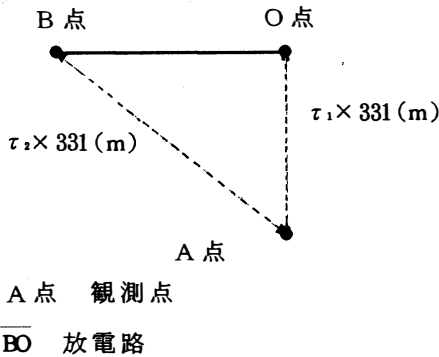


図9 直線状放電路

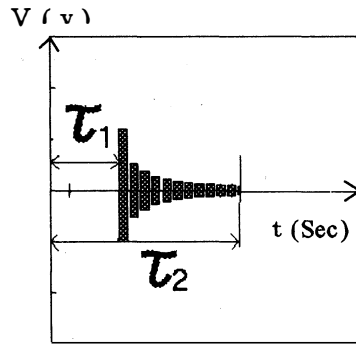


図10 推定雷鳴波形

次に図11に示すような直線状放電路の場合では、観測点には最初に観測点に最も近いO点の音が τ_3 の時間を経過して最も大きく届き、次に τ_3 と τ_4 の時間の中に、放電路OBとODの音が加え合わされて観測点に届く。次に τ_4 と τ_5 の時間の中に放電路CDの音が届くものと考えられる。そのため観測点A点には図11に示す τ_4 で段を示す雷鳴波形が観測されると考えられる。

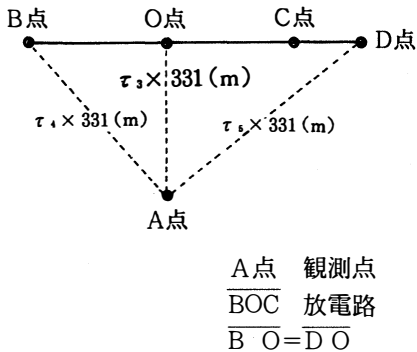


図11 直線放電路

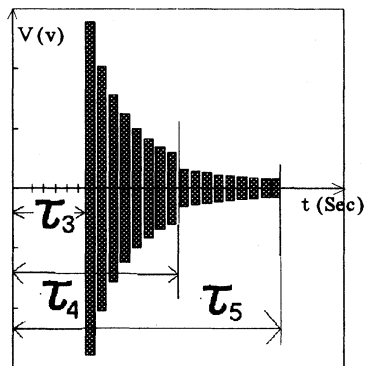


図12 推定雷鳴波形

5. 2. 2 放電路が分岐している場合

図13に示すように放電路が分岐している場合はどうなるであろうか。O点の音が τ_6 の時間を経過してまず観測点に届き、次に τ_6 から τ_7 の時間の中にODの放電路の音が観測点に届き、次に τ_7 と τ_8 の時間の中にDBとDEの放電路の音が加え合わされて届く。そして最後に τ_8 と τ_9 の時間の中にCEの放電路の音が観測点に届く。従って観測点における雷鳴の信号波形は2強音の図14に示すように、2つの強度のグループからなる雷鳴波形が観測されると考えられる。

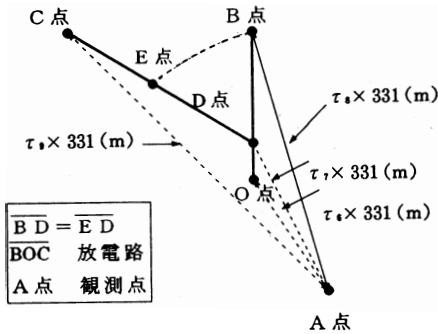


図13 分岐放電路

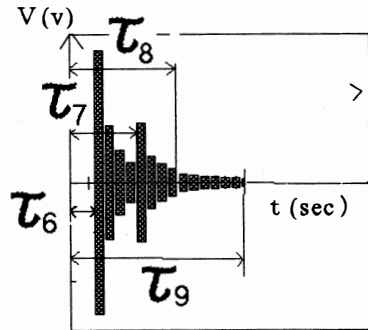


図14 推定雷鳴波形

5. 3 実際の観測波形からの放電路の推定

実際の観測波形を図15に示す。この観測波形は1996年12月23日に富山市稲荷元町で観測された雷鳴波形である。この雷鳴波形を音波の拡散モデルに適用し、推定される放電路の形状の一例を図16に示す。この波形解析から放電路の分岐についてのおおまかな推定が出来ることが分かる。

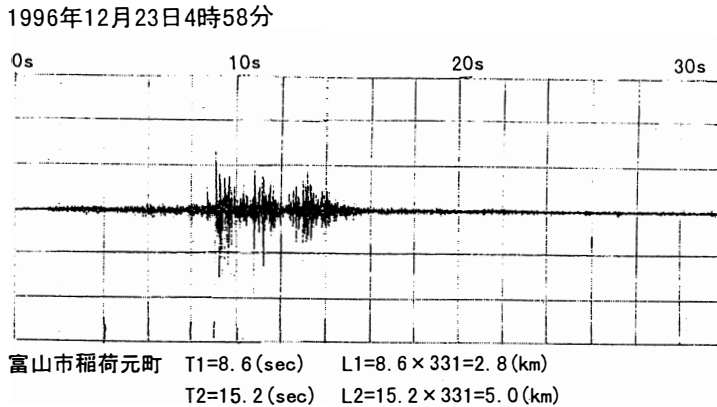


図15 観測された雷鳴波形

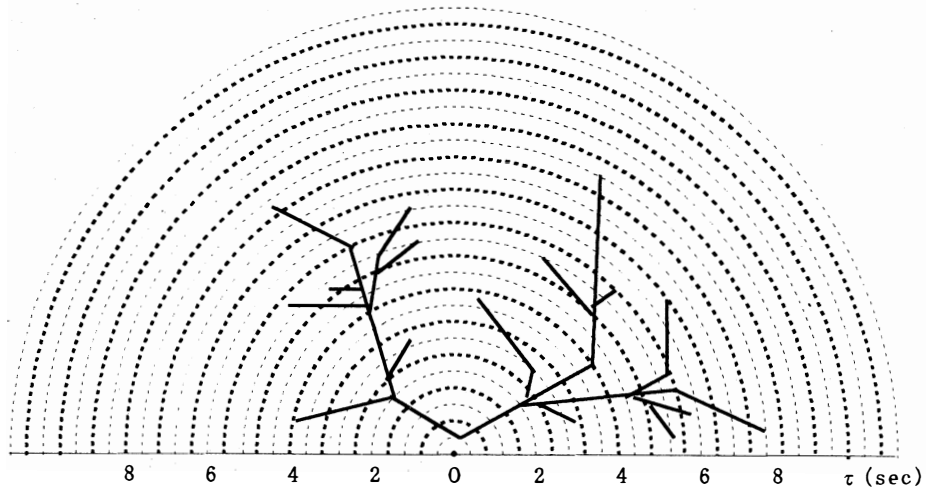


図16 推定放電路の形状

6. 結 び

冬季雷はエネルギーが大きく、昼夜を問わず、突然落雷するので、極めて危険であり、しかも、大きな災害をもたらしている。我々は冬季の雷雲は低いため、この落雷を等価回路的には、大きな静電容量をもち、しかも、多くの枝を持ったLCRの梯子型回路の放電と考えている。この放電回路の範囲を知ることは落雷時の電流値とも関係し、重要である。この研究ではこの範囲を音響的に測定できないかと2地点観測を行い、放電路の位置と範囲を大まかに推定することが出来た。

また、雷鳴の観測波形により、放電時のより詳細な分岐数や放電長さなどを知ることが出来ないか検討を試みた。雲の中の温度、風速などにより、音の到達時間は影響を受け、更に、途中の雨などの粒子によって減衰するものであるが、今回はこれらの因子を無視して考えた。しかしながら、このような単純モデルでも、観測結果と類似した結果が得られた。解析はこれからであるが、今後、より興味のある結果が出てくるものと期待している。

水滴落下時における絶縁破壊現象の観察と測定

南部 公孝, 北村 岩雄, 村井 忠邦, 池田 長康

Observations and measurements of discharge phenomena at falling of water drops

Kimitaka Nanbu, Iwao Kitamura, Tadakuni Murai, Nagayasu Ikeda

Observations and measurements of discharge phenomena at falling of water drops are examined for understanding of the lightning discharge at early stage. Since there is seldom investigation about the discharge phenomena, the investigation of this field is very important. The experiments are carried out with very simple apparatus which consists of a funnel with applied voltage and two needle electrodes. It is found that water drops spread like a cone shape at applying voltage and breakdown voltage with falling water drops decreases to 20 percent of that without falling them.

キーワード：絶縁破壊, 霧中放電, 落雷

1. まえがき

我々は、落雷があった後激しい降雨があることを度々経験している。しかし雷に関する成書には、落雷への進展はストリーマの先端での電離作用によるとしており、落雷と降雨の関係述べたものは見当たらない。我々はこの関係を明らかにしたいとこの研究を始めた。この研究は、より一般的には気体と液体の2相における一様非連続媒質での絶縁破壊現象ということになり、まだ未開拓の分野である。

2. 実験装置

激しい降雨時の落雷をシミュレーションするため、漏斗に正の直流高電圧を印加し、水滴を落下させながら、絶縁破壊の放電を観察した。この実験装置を図1に示す。絶縁破壊現象を観察しやすいように、電極間隔が広くとっても絶縁破壊が見られるように、電極として電圧印加側、接地側ともに長さ10cmのエナメル線(φ=0.45mm)の針電極を用いた。電圧印加側の針電極には、直流高電圧発生装置(最高電圧100kV)により正の直流高電圧を印

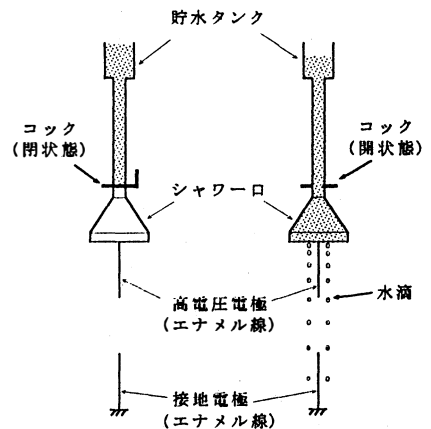


図1

加した。また水滴落下の方法は、タンクに水を貯めておき遠隔操作によりコックを開くことで、タンクに貯められた水をシャワー口より落下させる。シャワー口より落下される水滴は、正の直流電圧が印加される。電極間隔は5 cmに設定し、コックを開いてシャワーから水滴を落下させ、直流高電圧を印加して放電させる。

3. 実験観察結果

電極として電圧印加側、接地側ともに針電極を用いた実験で、水滴がない場合には図2 a) に見られるように、針電極から針電極への放電が見られる。水滴を落下させた場合でも印加電圧が低い場合は図2 b) の様に水滴は静かに落下するが、電圧を上昇するとともに水滴は互いに反発して図2 c) の様に傘状に広がる。絶縁破壊は起こるが、やや赤みを帯びた弱い光の放電が見られる。

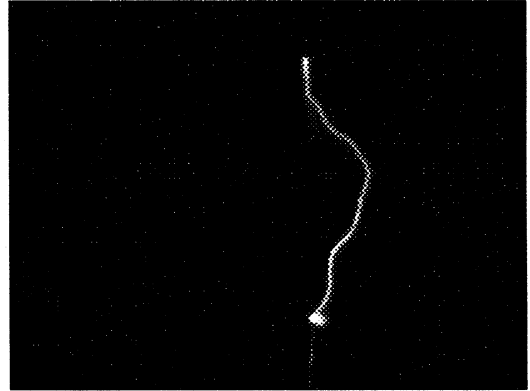


図2 a)

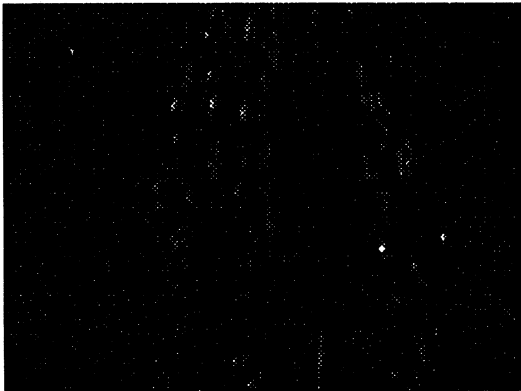


図2 b)



図2 c)

4. 水滴落下時における空気絶縁破壊電圧の低下

水滴を落下させた場合における電極間距離を変化させ、接地側電極を針状、円盤状及びこれらの組み合わせ形状での絶縁破壊電圧を測定した。

図3は両極とも針電極の場合で、水滴を落下させた場合 a) とさせない場合 b) の両方の結果を示す。水滴を落下させた場合、電極間隔が8 cm以下とそれ以上とでは破壊電圧の傾向が変わっている。これら破壊電圧との比をとると図4に示すように、この比は電極間隔が8 cmまで0.2程度で一定であり、それ以上の電極間隔では次第に大きくなっている。これは前節で述べたように、電極間隔が大きくなり電圧が上がると、荷電した落下中の水滴は互いに反発し、傘状に広がり、電極付近には水滴が無くなり、水滴の効果がなくなり水滴を落下させない場合に近づくためと考えられる。

図5は針電極と円盤接地電極の場合で、水滴を落下させた場合 a) とさせない場合 b) の両方の結果を示す。

図6, 7, 8, 9はそれぞれ針電極と、円盤電極に差し込んだ針状接地電極の場合で、円盤電極に差し込んだ針電極の長さをパラメータとし、それぞれ1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cmとしている。それぞれの図では水滴を落下させた場合 a) とさせない場合 b) の両方の結果をそれぞれ示す。円盤電極に差し込んだ針電極の長さが3 cm程度になると、針電極—針電極の場合の特徴が見られるようになる。

また、針電極の長さが4 cmの場合の水滴を落下させた場合とさせない場合のこれら破壊電圧との比をとると図10に示すようになる。

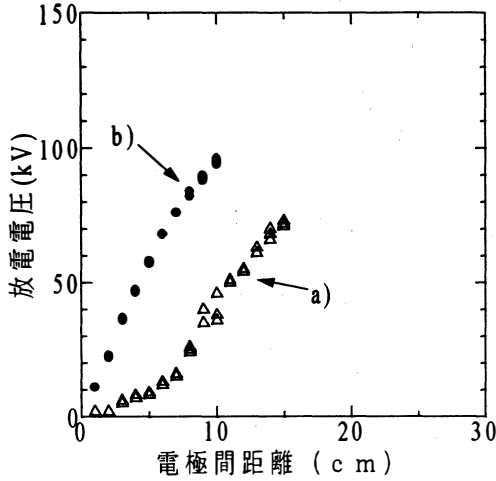


図3 電極が針—針の場合の放電電圧

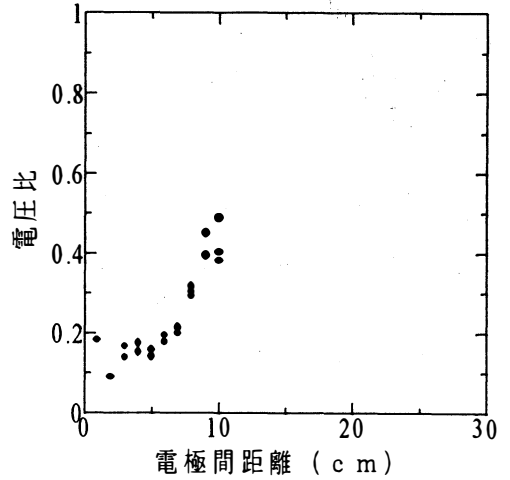


図4 水滴落下時の放電電圧比

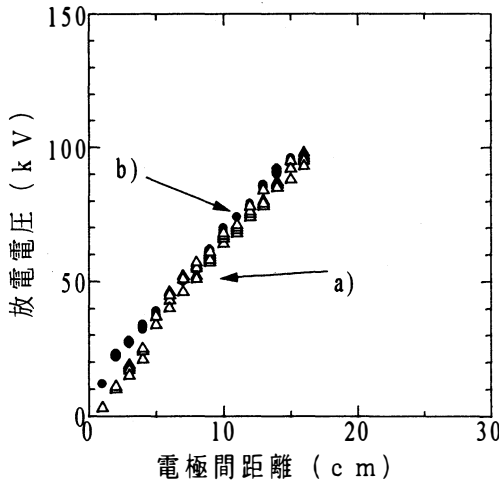


図5 針—平板電極の放電電圧

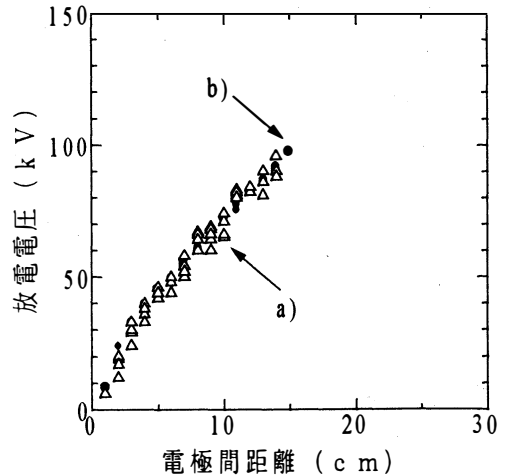


図6 平板電極から針電極を1 cm 伸ばした場合の放電電圧

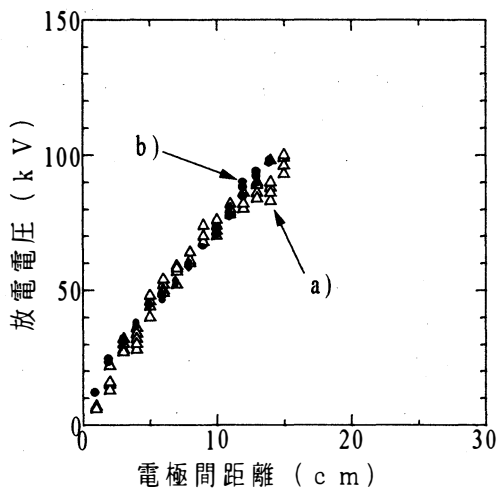


図7 平板電極から針電極を2 cm 伸ばした場合の放電電圧

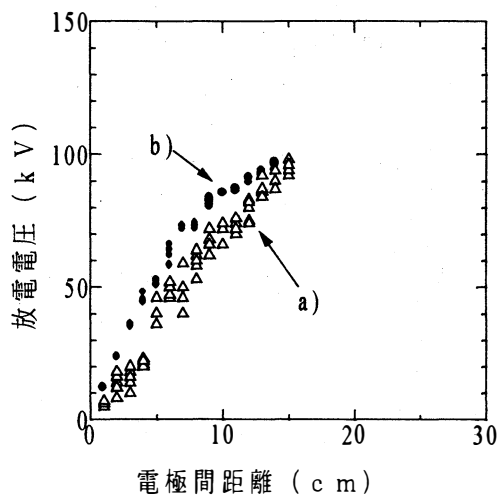


図8 平板電極から針電極を3 cm 伸ばした場合の放電電圧

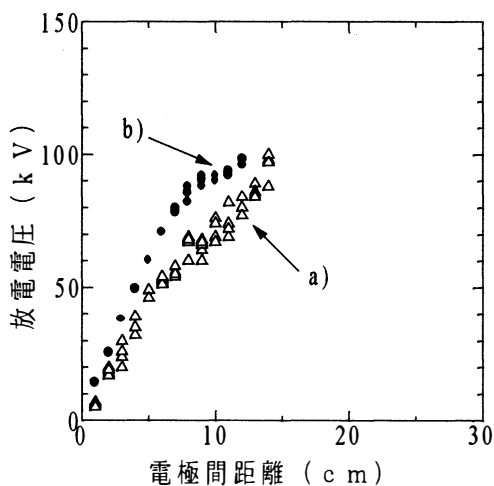


図9 平板電極から針電極を4 cm 伸ばした場合の放電電圧

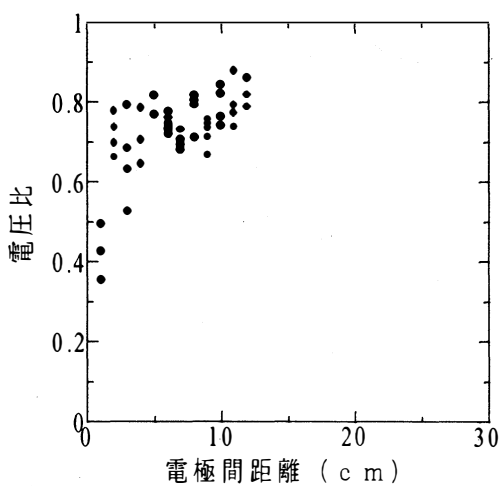


図10 平板電極から針電極を4 cm 伸ばした場合の電圧比

5. 実験結果の考察

水滴を落下させた場合とさせない場合とで、顕著な差異が図3の場合に見られた。電圧は0.2まで下がっている。しかし、電極間距離とともに、印加電圧が上がり、落下水滴の持つ電荷量は増加する。そして、互いに反発し、針電極の中心から水滴は遠ざかり、水滴のない場合と同じ破壊傾向を持つようになると考えられる。まず電極間距離8 cm程度までの現象は図11に模式的に示すように、水滴を通して絶縁破壊が起こり、水滴が大きくこれに寄与していると考えられる。すなわち絶縁破壊は電極間のある特徴的な半径 r_0 (これを特性半径と呼ぶことにする) の領域に水滴が入るとこれを介して絶縁破壊に至ると考えられる。従って、絶縁破壊電圧は極めて小さい。

次に、荷電水滴が電極間に仮想的に考えた特性半径 r_0 の外側を通る場合について考える。図3を模式的に書き直すと図13のようになる。ここでA点からB点までの特性について考える。同じ電極間隔 d について考えると水滴のない場合は P_1 の電圧 V_{B1} で破壊し、荷電水滴のある場合は P_2 の電圧 V_{B2} で破壊している。これらの状況を模式的に表すとそれぞれ図14a), b) のように表され、水滴のある場合は同図 b) のように負極を円錐状に正電荷が覆うことになる。このため負極からのコロナ放電は同図 a) の水滴なしの場合に比べ、対極までの距離が近くなり、電界が大きくなり、コロナ放電電流も大きくなることが予想される。従って水滴がない場合に比べ電極間隔が等価的に図13に示す d' と短くなり V_{B2} の低い電圧で絶縁破壊すると考えられる。AからBまでの絶縁破壊はあくまで水滴を介しない放電であるので水滴のない場合の絶縁破壊と相似の放電特性を持つものと考えられる。

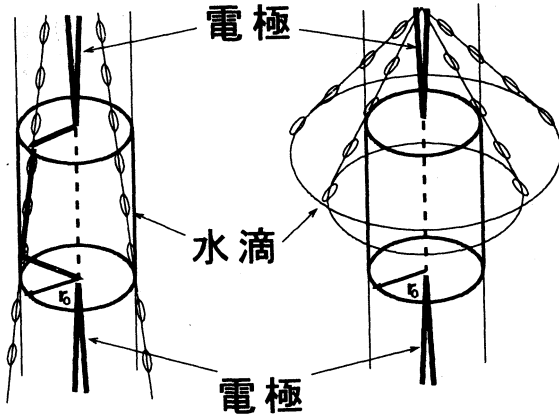


図11

図12

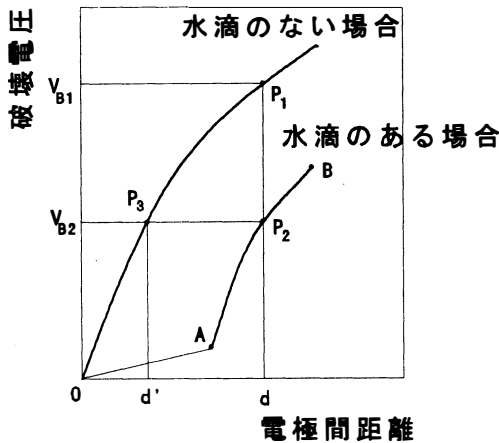


図13

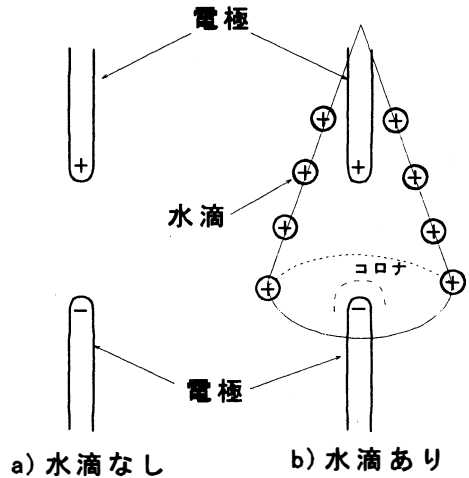


図14

6. あとがき

このような水滴落下時における放電現象は自然界には数多く見られるにもかかわらず、実験室内での実験はほとんど見られない。荷電水滴にはクーロン力や影像力が働く。そのうえ電界のもとでは静電誘導で分極するため、回転力、グレーディエント力などが働く。これらが強く相互作用を行い現象を複雑にしている。従って同じような条件をそろえることは極めて難しい。しかし、この実験では簡単な装置を用いて行ったにもかかわらず、新しい知見が得られた。今後より詳細に実験を重ね、水滴落下時における放電現象について調べ、最終的には落雷時における落下水滴の役割、効果について解析を進めたい。

雷雲の電氣的構造シミュレーション実験

—帯電霧と水滴の電氣的相互作用，二重層帯電霧における電界変化—

松田 正樹，七野 公介，北村 岩雄，池田 長康
酒井 勉，若井 武夫*（北陸電力地域総合研究所）

Simulation experiments of the electric structure in a thundercloud
— Electric interaction between charged fog and water drops
and Electric field change by double charged fog —

Masaki Matsuda, Kimisuke Hichino, Iwao Kitamura, Nagayasu Ikeda,
Tsutomu Sakai*, Takeo Wakai* * Hokuriku Electric Power Co

Experiments on electric interaction between charged fog and water drops as the indoor simulation for the electric structure in a thundercloud are carried. The charged fog instead of the charged cloud is used in this experiment. The electrifications of water drops passing through the charged fog in the various situation are measured in the experiment. As a result, it is found that water drops have electric charge under various situations which depended on the separation conditions of water and ice drops at its moment. Measurements of electric field on the ground on various charged fogs are also carried out. It is found from this experiment that neutral fog coming into under the charged layer is separated electrically by electrostatic induction and the fog act like lowering the charge layer.

キーワード：雷，雲，雷雲，落雷，電界

§ 1 ま え が き

現在停電のほとんどが落雷によるものであるといわれている。そのため，各電力会社および電力関係者は落雷の予測と避雷に全力をあげている。この雷に関する諸現象への対策を立てるにあたり，落雷のメカニズムや雷雲の発達過程の構造を解明することは重要であると考えられる。にも拘わらず，雷雲の諸現象は雄大でかつ，何時，何処で発生するかわからないということから，これらに関する情報は極めて限られたものしかない。

そこで，我々は実験室内でシミュレーション実験を行い雷雲の電氣的構造を解明しようと考えている。雷雲から発生する降雨，降雪にはプラスやマイナスの電荷が含まれていることが観測されている。しかし，この電荷がどこでどのような電氣的状況で帯電したのかは，未だ不明な点が多く主だった原因は明らかにされていない。そこで我々はこの帯電過程の原因を模索する中で，雲中の電荷量に注目

した。室内で単純な電氣的構造を持った雷雲模型を作り、その中で人工的に雨滴を発生させ、その帯電過程を調べる実験を行った。また、電荷量の異なる2つの帯電雲が地上の電界強度に与える影響を調べる実験も行い、解析を試みた。

§ 2 帯電霧と水滴の電氣的相互作用シミュレーション実験

2.1 実験装置と実験方法

水滴と帯電霧の相互作用を調べるために、図1に示すような装置を考えた。この装置では、帯電した雲の代わりに帯電した霧を使用した。この実験では、底面が1×1m、高さが2.6mのビニールシートで覆われた箱の中に帯電した霧を充満させる。霧の帯電方法は霧発生装置を絶縁して設置し、金属製噴霧ノズルに直流高電圧を印加する事によって霧を帯電させた。また電流計の値からこの霧の帯電量を計測する事が可能である。実験はこの帯電方法で発生させた霧を3分間噴射し、箱内を充満させた状態にする。その後高電圧発生装置と霧の発生を停止し同時に蒸留水500mlの入った金属製容器（以後この容器をノズルと称する）を霧の内部に挿入する。この容器から蒸留水を落下させることによって、雲中から発生した雨滴を相似させる。ノズルから落下する水滴は完全に落ち切るまでに約4分かかる。このノズルは外部から絶縁されており、浮遊のキャパシタンス22pFをもつ。またノズルは数千ボルトの高電圧になることが予想され、この高電位を計測するためにコンデンサの分圧法を用いた。ノズルから落下する水滴は霧の内部から箱の下部にあいた穴を通過して箱の下に設けられた導電性容器（以後たらいと称する）で捕まえる。このたらいは碍子で絶縁されており、これも大地に対してのキャパシタンスとして考えられ（117pF）、これに既知容量のコンデンサ（9.92nF）を結線し、たらいの電位を測定可能にした（合計10nF）。また、たらいに帯電した霧が付着し、影響されないように箱の下にもうけたファンで霧を吹き飛ばした。これらの実験方法で印加電圧を-25kVから+25kVまで5kVづつ電圧を変え、11ポイント選択し実験を行った。

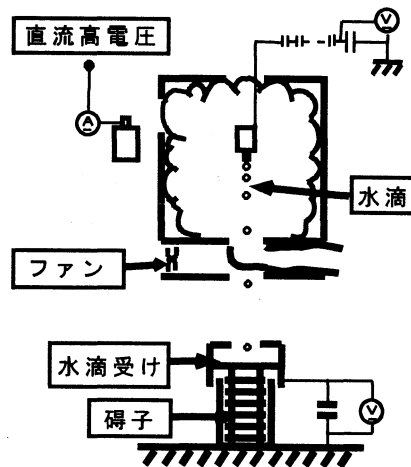


図1 実験装置

2.2 実験結果

2.2.1 実験結果の一例（正電荷の霧の場合）

実験結果の一例を図2に示す。図2は高電圧発生装置に+25kV印加して正電荷を持った霧を発生させた時のノズルとたらいの時間的電位変化を示したものである。上図にノズル、下図にたらいの時間的電位変化を示す。横軸は霧を発生させてからの共通の時間(s)を示し、縦軸はそれぞれの電位(V)である。

霧を噴射後180sで霧の供給と高電圧装置を切りノズルを挿入する（図2①の始点）。するとノズル電位は急激に上昇し、挿入後4.5sに7281.05Vのピークを迎えた後、降下した。この時点ではまだノズルから水滴が落下していないため落下水滴を捕獲するたらい電位の変化はなかった。次にノズルを挿入してから5秒後にノズルから水滴を落下させた（図2の①と②の境界線）。ノズル電位は一旦上昇し、水滴落下後5.75sにピーク電圧7216.52Vを迎えた後降下した。一方たらい電位は降下した後上昇

するという逆特性を示した（ピーク値:水滴落下後11.25s, -7.215V）。またそれぞれのピーク値では、ノズル電位の方が早く現われる結果を示した。

2.2.2 ノズル, たらい電位の時間的電位変化についての解析

前節で述べたノズルとたらいの二つの電位変化について, その現象を考察する。図2の①はノズルを挿入してから水滴を落下させるまでの領域である。領域①ではノズルを挿入すると帯電した霧が付着し, ノズルの浮遊キャパシタンスを充電し, 電位は急激に上昇する。しかし, ノズルには漏れ抵抗 ($1.68 \times 10^{12} \Omega$) が存在し, 漏れ電流が発生する。よってノズル電位は放電特性の形でしだいに降下すると考えられる。②は, 水滴落下時から, たらい電位が下降状態の領域とする。ここで重要なことはノズルから水滴を落下させることによって, ノズル電位が周囲の霧と等電位になろうとする性質を持つことである。②の領域ではノズル電位は実際の霧電位に比べて低いために, 負電荷の水滴を落下させることにより, ノズル電位を上昇させようとする。そのため, たらいの電位は降下する。しかしノズル電位が上昇するに伴い漏れ電流が増加し, 実際の霧電位に至る前に降下をはじめると思われる。従って②のノズルのピーク値は漏れる正電荷量と落下水滴の負電荷量が一致する点と考えられる。また, たらいが中性の水滴を受け取る時, すなわちたらい電位が下降から上昇に転ずる時 (図2の②と③の境界) が霧の電位と, ノズルの電位が等しくなるところと考えられる。③の領域では, ノズル電位が下降し, たらいの電位は上昇している。これは周囲の霧が晴れ, 霧電位そのものが急激に低下し, それに追随しようとするノズル電位も同じく低下しようとしていると考えられる。この時ノズルの電位を低下させるのに, 漏れ電流による正電荷の放出だけでは間に合わず, 正電荷の水滴を落下させ, ノズル電位を降下させているものと考えられる。

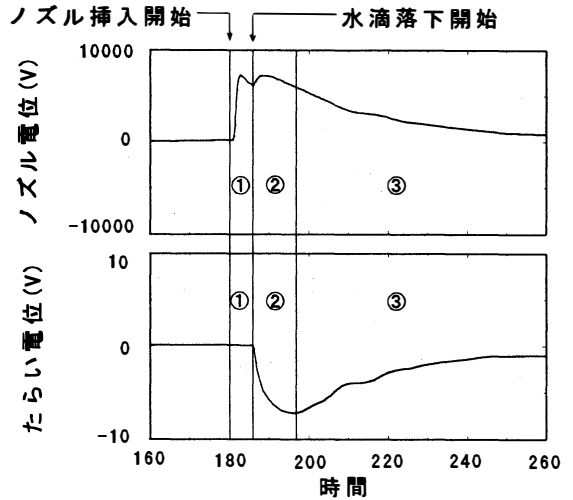


図2 実験結果の一例

2.2.3 実験結果 (正負電荷を持った霧の場合)

図3と図4に霧発生装置に-25kVから+25kVまで5kVごとに印加したときのそれぞれの波形結果を示す。図3はノズル電位, 図4はたらい電位の時間的電位変化である。図3のようにノズル電位は

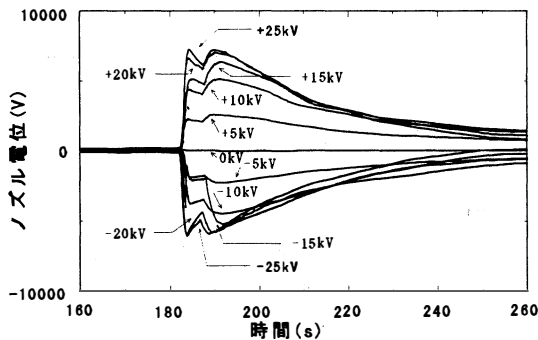


図3 ノズル電位の全データ

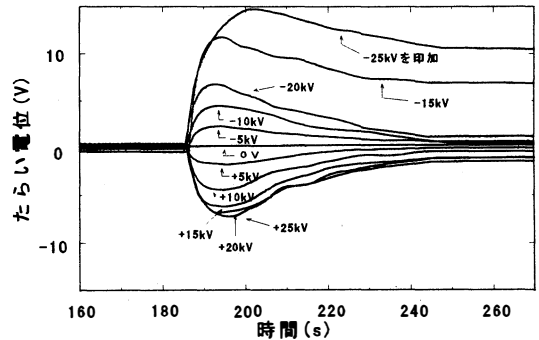


図4 たらい電位の全データ

霧の電位に近づこうとするため、霧と同極性特性を示す。電圧を上昇させるに伴いノズルの電位は上昇しているが±15kV以上では上昇の度合いが小さくなり飽和している。図4では、たらいの電位はノズル電位とは逆極性に変化し、ほぼ、印加電圧とともにその値が上昇している。しかし、ノズル電位の波形に比べらつきがある。それは、箱内の帯電霧が激しく対流しているために電荷密度の濃さの違いによる影響が見られるものと思われる。

§ 3 仮想二重層帯電霧の電界強度測定実験

3.1 二重帯電霧の電界測定実験装置

二重層帯電霧における電界強度の変化を調べるために、図5に示す装置によって実験を行った。ここで二重層の帯電霧とは上下異なる極性を持った霧のことをいう。位置が一定であれば、電界は雲の帯電量によって変化する。図5に示すように底面1m×1m、縦1.3mのビニールシートで覆った箱を用意する。上部の帯電霧を仮想するために箱の上部に絶縁された木板を設置し、直流高電圧を印加する。また、下部の帯電雲の模型として箱の中に帯電した霧を充填させる。霧の帯電方法は2.1節で述べたのと同じ方法で行う。箱の下部は直径20cmの穴の空いた木板によって仕切られている。その穴の直下に電界測定装置を設置し、箱上部の木板と霧からの電界を測定可能にした。電界測定装置から上部木板と箱の下部までの距離はそれぞれ145cm、15cmである。また、電界測定装置に帯電霧が付着しないようにエアカーテンを箱下部に設置した。

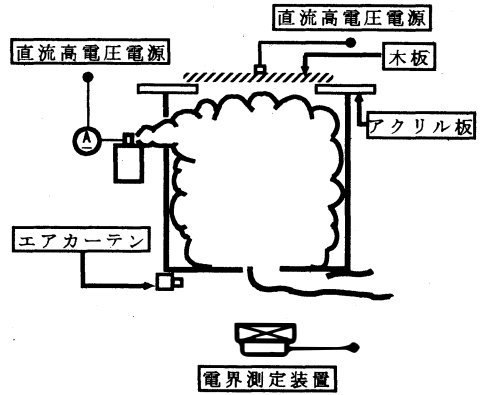


図5 仮想二重層の実験装置

3.2 電界測定実験結果

3.2.1 木板からの電界測定結果

まず上層部からの電界強度のみを測定するために、箱中には霧を噴射させず、箱上部木板に-25kVから+25kVまで5kVずつずらし直流高電圧を印加してそれぞれの電界強度を測定した。図6にその結果を示す。横軸は上部木板にかける電圧(kV)、縦軸は電界(V/cm)である。上部木板が0V時でも4.8V/cmの値を持つが、これは電界装置校正に限界があるためである。図6に示すように木板に印加する電圧を増加させると電界強度も増加し、+25kV印加した場合は電界は0V時に比べ約3.6V/cm増加し、-25kV印加した場合は約-4.8V/cm減少している。またその変化過程はほぼ比例状態にあることがいえる。電界測定装置と木板は145cm離れているために、理論上+25kV木板に印加した場合その電界強度の値は172.41V/cmであるが実際の実験での電界は非常に小さくなっている。これは電界測定装置上15cmのところ箱下部の板が設置されており、その板がアースされているために実際の電界強度は理論上よりも低くなると思われる。

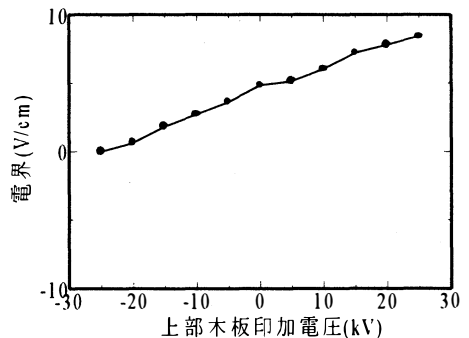


図6 上部木板のみに電圧を加えたときの電界

3.2.2 帯電霧からの電界測定結果

下層部からの電界強度を測定するために、木板には電圧をかけず、霧発生装置に-25kVから+25kVまで変化させて直流高電圧を印加して箱中に霧を充満させる。図7にそれぞれの電界強度の結果を示す。横軸は霧発生装置に印加する電圧(kV)、縦軸は電界(V/cm)である。図7に示すように霧に印加する電圧を増加させると電界強度も増加し、+25kV印加した場合には約104.29V/cmの電界が増加している。またその関係はほぼ比例関係にあるといえる。またこの節の、霧に+25kV印加させた場合の電界は、前節の木板のみに+25kV印加させた場合の電界よりも約30倍も大きい事が分かった。電界測定装置から箱下部までの距離は15cmであるので、箱下部の霧電位は1564.28Vであると考えることができる。

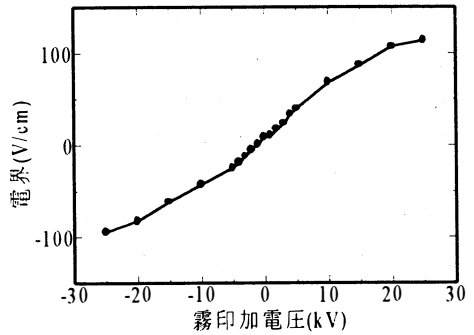


図7 霧のみに電圧をかけた場合

3.2.3 帯電霧二重層による電界変化測定結果

二重層の帯電霧の電界強度変化を調べるために、まず箱内に電氣的中性の霧を充満させ、その後上部木板に高電圧を加えた時の電界時間的变化の様子を観察した。その実験結果が図8である。図8は実験開始後、電氣的中性の霧を120s間噴射し、その後上部木板に印加する電圧を25kV, 20kV, 15kV, 10kV, 5kV, 0Vと60s間づつ変化させたときの電界強度の時間的变化を表したものである。横軸は実験開始からの時間(s)であり、縦軸は電界(V/cm)である。図8から木板電圧を加えると電界が変化し約10sで安定することが分かる。また、木板印加電圧が減少するに伴い電界強度も降下している。電界は同条件中でも激しく変化しているが、これは箱内において霧が対流を起こし、電荷分布も同様、この対流影響と箱下部から不定期的に漏れる霧による影響だと思われる。今回、同条件下での電界強度を決定するために、一定条件後60sから115sまでの25s間の電界平均をその条件下での電界強度の値とした。

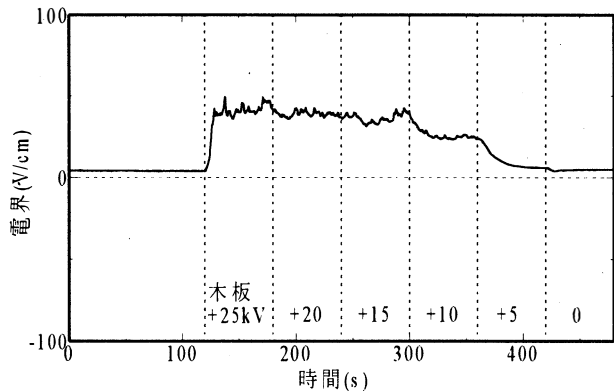


図8 上部木板の電位を変化させ多時の時間的電界変化(霧は中性)

3.2.4 上部雲のみによる電界と、上部雲と下部雲が重なる場合の電界の比較

図9は下部に電氣的中性の霧を入れた場合と入れない場合での、上部の木板の電圧を-25kVから+25kVまで5kVづつ変化させたときのそれぞれの電界を示す。横軸を木板への印加電圧(kV)、縦

軸を電界 (V/cm) とする。同図より木板に電圧を印加し、その下部に霧を充満させると霧が無い場合に比べ電界絶対値は大幅に上昇する結果となった。これは下部に霧挿入の影響で上部の木板からによる電界が増幅されたということである。霧挿入時での、木板電圧が±5kVの場合、電界は微小にしか変化しないが±10kVでは急激に増加し約±25kVの値付近で飽和していることが分かる。また、+25kVの電圧を木板に印加させ、霧を充満させない場合3.6V/cmと充満させた場合49.20V/cmでは約14倍もの増幅が観測された。

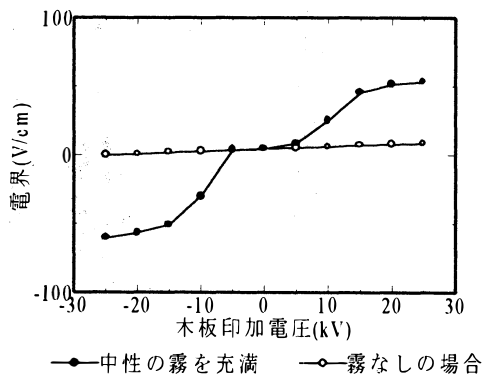


図9 木板に電圧を印加し、霧を入れる場合と入れない場合の電界

3.2.5 二重層帯電雲において上部雲の電界が変化した場合のシミュレーション実験

図10は下部霧の印加電圧を一定にし、上部木板の印加電圧を変化させた時の電界強度を表したものである。横軸は木板電圧 (kV)、縦軸は電界 (V/cm) である。図9と同様に木板印加電圧が上昇すると電界も上昇しているが、噴射する霧の電圧が上昇、つまり帯電量が増加するに伴いそれぞれの電界も増加する事が分かる。また、霧0, ±5kVの3本に注目すると木板印加電圧が±20kV付近で電界は飽和することがわかる。図10中の波線は箱内に霧がない場合つまり上部木板のみからの電界である。例に、木板に15kV印加した場合は、霧の電圧が+5k, 0, -5kVの時は上部木板の電界を強め、-15k, -25kVの時は電界を弱めているということが分かる。

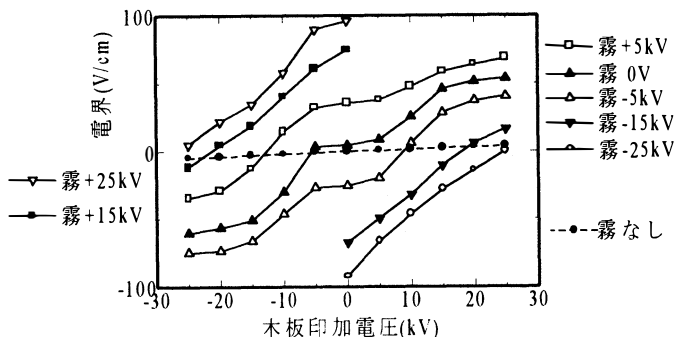


図10 木板に印加する電圧を変化させた場合

図11は上部木板の印加電圧を一定にし、下部霧の印加電圧を変化させた場合の電界強度を表したものである。下部の霧の帯電量を増加させると同時に電界強度も増加することが分かる。また、上部木板の電荷が霧の電荷と異極の時は霧のみの電界 (図11の板0V線) を弱めているということが言える。

3.2.6 二重層帯電雲において下部雲の電界が変化した場合のシミュレーション実験

図11は上部木板の印加電圧を一定にし、下部霧の印加電圧を変化させた場合の電界強度を表したものである。下部の霧の帯電量を増加させると同時に電界強度も増加することが分かる。また、上部木板の電荷が霧の電荷と異極の時は霧のみの電界 (図11の板0V線) を弱めているということが言える。

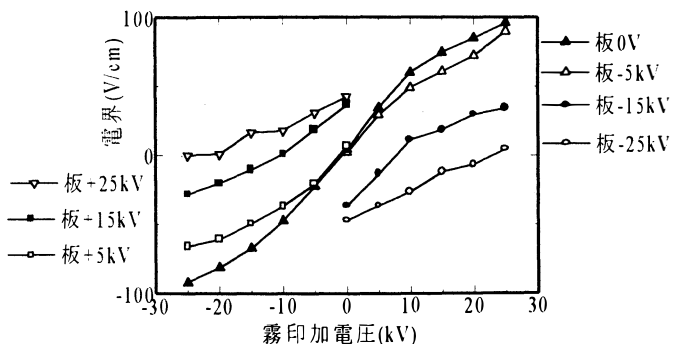


図11 噴射する霧の帯電密度を変化させた場合

3.3 二重層帯電霧における電界変化のシミュレーション実験の解析

3章における二重層帯電霧のシミュレーション実験では上下帯電雲が互いに影響し、地上から見た総合的な電界を作り出すことがわかった。3.2.4節の実験結果について考えてみる。図12左図に示すように3.2.4節ではまず木板に+25kV印加する事により木板は正電荷を持つ。箱内には、霧が充満されていないため電界測定装置は145cm離れた上部木板からの正電荷と、箱下部のアースされた板（電界装置からの距離15cm）からの総合的な電界値を持つ。しかし図12の右側に示すように、電氣的中性の霧噴射を行った場合は、霧

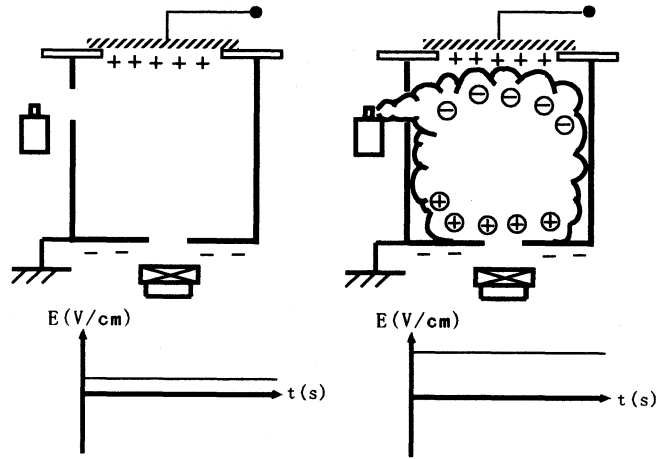


図12 霧を充満させると電界が上昇する模式図

が上部木板の電位によって分極され霧内の負電荷が上部木板に近づき、逆に正電荷が箱下部のアースされている板に近づく。電界測定装置は板の穴から霧の正電荷が接近しているように見える。この正電荷によって電界強度は増加するものと考えられる。また今回の3.2.5節の実験により、充満させる霧が正電荷に帯電した場合はよりいっそう上部の正電荷を持った板からの電界を強める働きがあることがわかった。これは、霧内の正電荷が上部木板の正電荷と反発し、電界測定装置に多量に近づくためだと考えられる。また充満させる霧が負極性に帯電した場合は、正電荷を持った木板からの電界を強める場合と弱める場合があることが確認できた。負電荷の霧の中には多くの負電荷を持つ。しかしその霧中でも少数ではあるが正電荷をも含んでいるはずである。この少数の正電荷が上部木板に反発し下部に移動し電界が上昇するものと思われる。しかし、霧に含まれる負電荷量がさらに増えると電界は分極による正電荷の量よりも霧自体の負電荷の影響が大きくなり電界は降下するものと思われる。また木板に負の電圧を加えた場合でも正負逆に考えることができ同じように分極されることがわかった。

§4 まとめ

4.1 2章のまとめ

2章で述べた実験結果から実際の雲中の帯電過程を考えてみると図13のように雲の帯電量が増加している時に雲中で発生する水滴は負極性を持ち、雲中の帯電量が増加も減少もせず安定している時に発生する水滴は中性である。また雲帯電量が減少する領域では正極性の水滴が落下するものと考えられる。また、負極性の雲の場合でも同じ事がいえ、落下

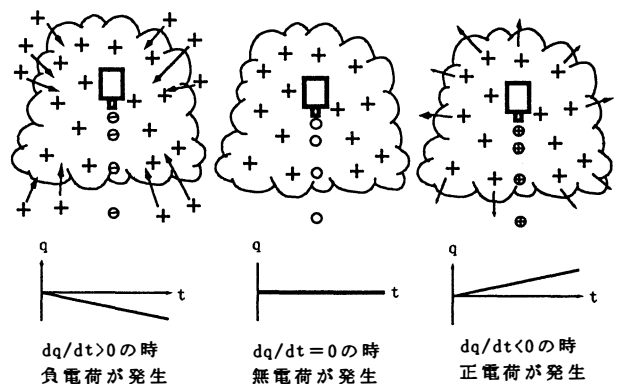


図13 上空での帯電過程の予想

する降雨の帯電過程は上空の雲の電荷変化にも依存されていることが分かった。

この実験では一様な電荷分布を持った雷雲を想定して行った。実際の雷雲中の電荷分布は一般的には上部正、下部負であり、他の様々な帯電過程の要因が考えられる。しかし冬季雷では電荷分布が強風のため横伸びになり局部的にこの実験のような帯電過程による降雨が発生されることが推測される。

4.2 3章のまとめ

3章の実験結果から実際の上空の帯電量が異なる雲塊が重なる場合の電界変化を考えてみる。地上の電界が強まる時(図14, 左図)には下部に中性もしくは、弱い負電荷を持った雲塊が重なったときと考えられる。また地上電界が弱まる時(図14, 右図)には下部に負電荷量の多い雲塊が入り込んでいるものと考えられる。また上部の雲塊が負極性のものについても同様ながいえる。今回の実験では下部の雲塊は他の雲塊と重なることにより分極などの電荷移動が確認されたが上部からの電界として一定の電圧木板を利用したために上部雲での分極

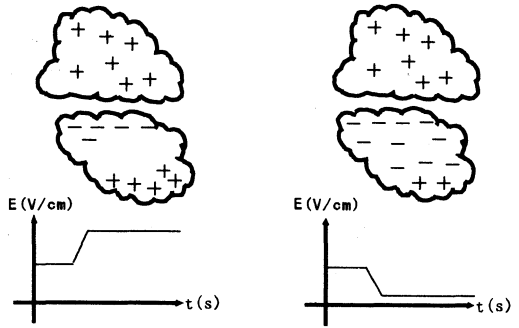


図14 帯電量の異なる雲塊が重なった時の電界変化

などの変化を見ることができなかつた。実際の異なる電荷量を持った雲塊が重なる場合では上部の雲についても分極を起し総合的な電界強度に影響を与えるものと思われる。しかし今回の実験により地上から一番近い雲塊の電荷が電界値に大きな影響を与えることが分かった。今後は帯電量の異なる雲塊が上下に動いたときの電界、または混ざりあう瞬間の電界変化をシミュレートすることにより落雷が起りやすい状態はいったいどのような電荷分布を持ったものであるのかということの研究していきたい。

多足歩行ロボットのシーケンス制御

阪本 猛, 中田 克圭, 北村 岩雄,
松田 秀雄, 池田 長康

A study of sequential control of a multiped walking robot

Takesi Sakamoto, Katsuyosi Nakada, Iwao Kitamura,
Hideo Matsuda, Nagayasu Ikeda

The maintenance of a electric power-transmission line is very important for stable supply of electricity. Now many power-transmission lines goes through mountains. And then, in the case of ordinary vehicles such as trucks, roads to maintain the lines must be constructed over the mountains. It follows reckless destructions of forests as a ecological system. A multiped walking robot becomes a indispensable vehicle to move through a forest without a road. This is our object of the study on a multiped walking robot. The concept of the robot is aimed at a simple system as possible. The robot has four legs. The sequential control system consisted of DC moteres, linear actuators and limit switches. The operation state of the switches may be expressed by multi-dimensional logic vector at times, and the transition from one vector to another vector is represented by simplified logic matrix which is taken to a few cofactors.

キーワード：多足歩行ロボット, シーケンス制御, 論理回路, 遷移行列

1. ま え が き

現代社会において電気無しでの生活は考えられない。安定した電力供給は電力会社による送電線の保守点検などの絶え間ない努力の上に成り立っている。しかし送電線の多くは水力発電のためのダムとの接続やコストなどの面から山斜面, 又は山中深くを走っている。現在ではそのために送電線までの道路をわざわざ施設している。これはコスト増大などの経営面の問題だけでなく森林伐採や山斜面の水脈の切断などの環境面での問題も起こしている。しかし送電線まで徒歩で行くには作業者の安全の確保が難しくなる。そこで送電線のあるような森林や急な斜面を移動するのに道路を必要としない乗り物として多足歩行するロボットの研究が不可欠であると考えられる。このロボットはまた荒地, 湿地への侵入が可能であり調査, 研究にも有用であると考えられる。

2. ロボットの基本設計

歩行ロボットを製作するにあたって、シンプルなシステムで多足歩行ロボットの制御することを目標とした。このロボットは図1のように2カ所で可動（2自由度）の足を4本持つ。動力としては直流モーターとボールネジを組み合わせたリニアアクチュエータを用いる。これは将来実用化するときには油圧シリンダの使用が予想されるためである。センサーとしてリミットスイッチを関節周辺に配置し、ある一定の角度になったときにこれを検知できるようにしたそしてリレーを使用したシーケンス制御を行っている。

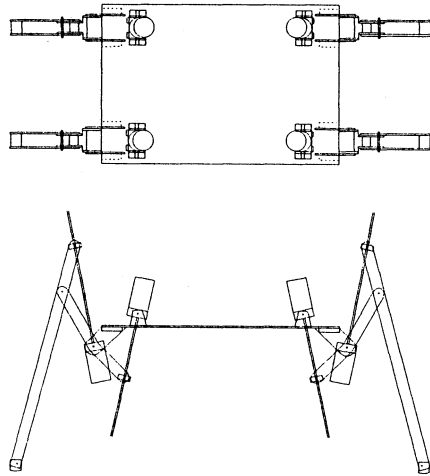


図1

3. 歩行の流れ

3.1. 1本足の動き

図2は1本足におけるスイッチとモーターの位置を示している。s1からs4までのスイッチは一定角度になると取り付けられたバーによって押されるように配置したリミットスイッチであり、スイッチs5は地面に付いたときにオンになる。

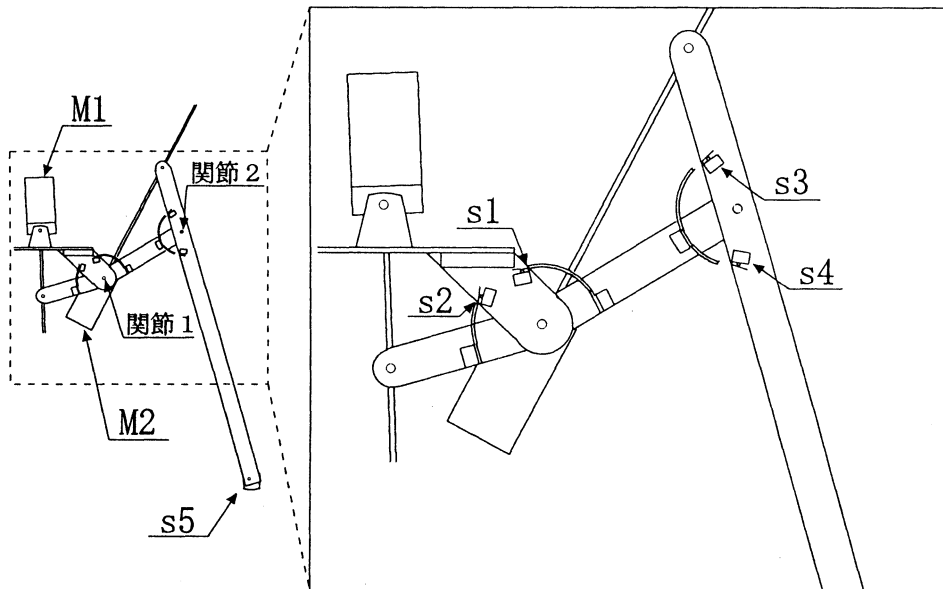


図2

図2のスイッチを持つ1本足の動きを示したのが図3である。

図3の1ではモーターM1を正回転させて関節1を軸にして足を上げる。

同図の2ではモーターM2を逆回転させて関節2を軸にして足を前に出す。

同図の3ではモーターM1を逆回転させて関節1を軸にして足を降ろす。

同図の4ではモーターM2を正回転させて関節2を軸にして足を引き寄せる。

そしてまた同図の1へと戻り、これを繰り返すことによって歩行する。

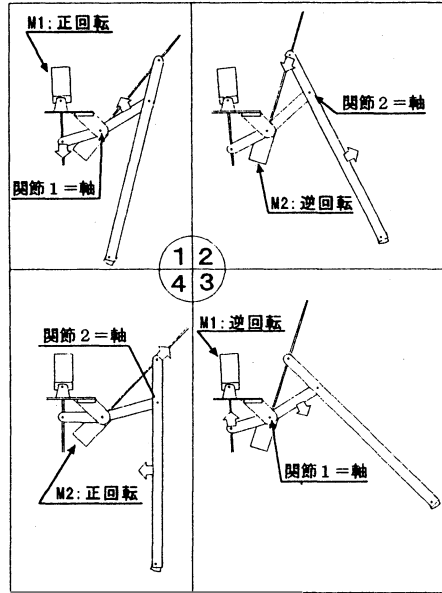


図3

このような動きをする時の足1本の各スイッチの状態遷移を表したものが表1である。1本の足にはスイッチが5個配置されている。同表にはそれぞれのスイッチがオフのとき0、オンのとき1と表している。またモーターは-1が逆回転、0が静止、1が正回転を表す。またモーターの枠がずれているのはモーターの動きによってある時間の状態から次の状態に移るからである。

例えば一番左の欄を見るとモーターM1が正回転することにより時間t1からt2に遷移するということを表している。

尚、時間軸は一定間隔ではなく状態の変化で進む時間軸としてある。

表1

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t1
s1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	1	1	1	0
s3	0	0	0	1	1	1	0	0	0
s4	1	1	0	0	0	0	0	1	1
s5	0	0	0	0	0	1	1	1	0
M1	1	0	0	-1	-1	0	0	1	
M2	0	-1	-1	0	0	1	1	0	

図4には時間t1におけるスイッチの状態、モーターの状態を対応させて説明している。スイッチs4がオンの状態でモーターM2が静止し、モーターM1が正回転し関節1を軸に足をあげている途中の状態であることを示し、次のt2の状態に進んでいることを示す。

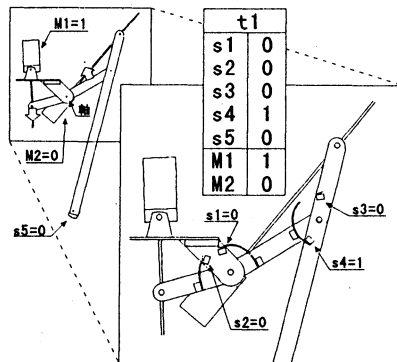


図4

3. 2. 4本足の基本的な動き

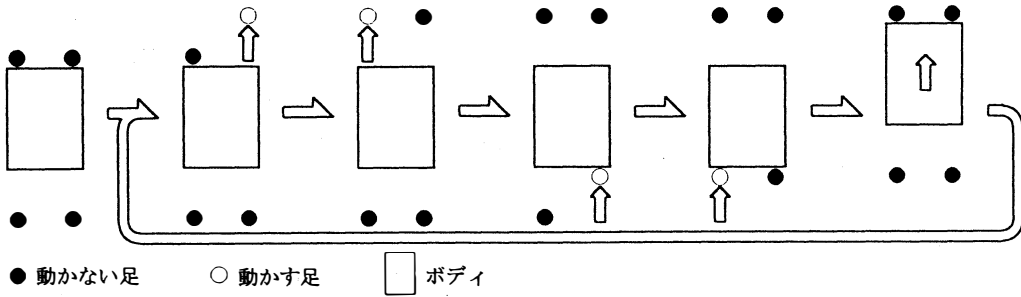


図5

図5は4本足歩行の動作の基本的な流れを示す。4本の足のうち、足3本で体を支えながら残りの1本を次の位置に進める。進める足の順番は右前、左前、右後、左後の順に進め、最後に4本を同時に動かすことにより重心を移動させる。

足1本の状態遷移表を基本に上記の4本足の状態遷移を示したのが表2である。

表2

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14	t15	t16	t17	t18	t19	t20	t21	t22	t23	t24	t25	t26	t1
s1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
s3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
s4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
s5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
s6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s7	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
s8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
s9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
s10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
s11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
s12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
s13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
s14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
s15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
s16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
s17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
s18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
s19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
s20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
M1	1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
M2	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
M3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
M7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	-1	0	0	0	0
M8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	1	1	0	0

この歩行ロボットのスイッチは足1本につき5個のスイッチがあるので足4本でs1からs20までの20個のスイッチがある。モーターの数は足1本につき2個のモーターがあるので足4本でM1からM8の8個のモーターがある。時刻t1からt6までにおいて右前足を前に進め、時刻t7からt12の間において左前足を前に進め、時刻t13からt18の間において右後足を前に進め、時刻t19からt24の間において左後足を前に進め、時刻t25からt26において重心を前に進めている。従って周期は26のステップから成る。

4. 論理遷移行列の考え方

4本の足に付いているスイッチは20個であり、これらのスイッチの状態を表現するのに20次元の1つのベクトルと考える。ロボットが動作することはこの20次元ベクトルが次々と別のベクトルに遷移していくことを意味している。このベクトルは1, 0の2値関数であるから遷移行列も2値からなる特殊な行列計算によって表現することを考えた。

$$\begin{array}{c} t2 \\ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{pmatrix} \phi & \phi & \phi & 1 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 1 & \phi \\ \phi & \phi & \phi & 0 & \phi \end{pmatrix} \\ t1 \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad \begin{array}{c} t8 \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{pmatrix} \phi & 0 & \phi & \phi & 0 \\ \phi & 1 & \phi & \phi & 1 \\ \phi & 0 & \phi & \phi & 0 \\ \phi & 1 & \phi & \phi & 1 \\ \phi & 1 & \phi & \phi & 1 \end{pmatrix} \\ t7 \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

4.1. 1本足の場合

足一本において、この遷移を行列によってベクトルの遷移を表現することを考えた。表1をもとに時刻t1に掛けるとt2になる行列を調べた。それ以後の時刻についてもすべての場合について調べた。

$$\begin{array}{c} t4 \\ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{pmatrix} 1 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 1 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0 & \phi & \phi & \phi & \phi \\ 0 & \phi & \phi & \phi & \phi \end{pmatrix} \\ t3 \\ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array} \quad \begin{array}{c} t6 \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} \begin{pmatrix} \phi & \phi & 0 & \phi & \phi \\ \phi & \phi & 1 & \phi & \phi \\ \phi & \phi & 1 & \phi & \phi \\ \phi & \phi & 0 & \phi & \phi \\ \phi & \phi & 1 & \phi & \phi \end{pmatrix} \\ t5 \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

その一例を図6に示す。

図6

この行列とベクトルとの積は通常の行列計算方法に従うが、個々の積の計算は論理積と論理和を用いる。また同図でφは空集合を表す。このままでは一回の遷移に付き一つの行列が必要のため、時刻t1からt8だと8つの行列が必要になる。これでは扱う情報が大きくなり過ぎるため、情報の圧縮を考えた。この4つの行列において空集合でお互いを補い合うことにより同図で示したこの4つの行列を1つにまとめることができた。その結果表現できたのが図7にあるC1行列である。

$$\begin{array}{c} t2 \\ \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array} = \begin{array}{c} C_1 \\ \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ t1 \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

図7

$$C_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad C_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad C_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

これと同じ考えに基づき求めたのが図8のC2, C3の行列である。

$$C_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad I = \begin{pmatrix} 1 & & & & 0 \\ & 1 & & & \\ & & 1 & & \\ & & & 1 & \\ 0 & & & & 1 \end{pmatrix}$$

図8

4.2. 4本足の場合

次に4本足全体について考える。

20次元のベクトルを遷移させる行列となると20×20の巨大な行列となり、その内容の複雑さと取り扱いの難しさが予想される。しかしここで先ほどのCX行列と単位行列Iを組み合わせることで式(1)のように小行列を用いて表すことができる。

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10010 \\ 01101 \\ 10100 \\ 01011 \\ 01101 \\ 10000 \\ 01000 \\ 00100 \\ 00010 \\ 00001 \\ 10000 \\ 01000 \\ 00100 \\ 00010 \\ 00001 \\ 10000 \\ 01000 \\ 00100 \\ 00010 \\ 00001 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_1 & & & \\ & I & & \\ & & I & \\ & & & I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

5. 結 び

この研究ではシーケンス制御による多足（4足）ロボットの歩行を考えてきた。可能な限りシンプルなシステムでの制御を目指すうちに、スイッチの状態をベクトルで表現し、行列計算によってその遷移を表現できることが判明した。まず1本の足の各時刻における論理ベクトルを表にし、それぞれを遷移させるマトリックスを作った。そのマトリックスを圧縮することにより三種類の5行×5列の行列にまとめることができた。これにより遷移表現が明確となり見通しも良くなった。これにより4本の多足ロボットを考えた高次のベクトルの場合にも、この遷移マトリックスを組み合わせることで使用することにより、20次元ベクトルとしては飛躍的な容易さでこの遷移を表現することができた。今後の研究はこの遷移行列によってモーターへの出力を表現する方法を考えるとともに、これらの論理計算に適していると思われるコンピューターでの処理を目指すべきであると思われる。

反強誘電性液晶表示素子における中間調表示方法の一考察

一分極反転電荷量-光透過度特性-

石渡 高士, 岡田 裕之, 女川 博義

抄録

反強誘電性液晶素子のスイッチング時における光透過度と分極反転電荷量の相関について検討した。中間状態を制御可能なパルス印加状態で、光透過度と分極反転電荷量を測定した結果、パルス幅、パルス電圧に依存しない一義的な相関があることを見いだした。

英文抄録

Relationship between transmittance and polarization reversal charge under switching condition of antiferroelectric liquid crystal cells have been investigated. As a result of transmittance and polarization reversal charge measurement, we found the universal relationship that no depends on pulse width and pulse voltage under pulse condition for gray level control.

キーワード : antiferroelectric liquid crystals, gray level control, polarization reversal charge, MHPOBC

1 はじめに

反強誘電性液晶は、三安定性¹⁾、対衝撃性^{2), 3)}、無焼き付き^{4), 5), 6)}等の特徴を有する材料として注目されている。これまで我々は強誘電(F) - 反強誘電(AF)状態相転移の電気光学応答とそれを利用した中間調制御法⁷⁾、そして交流駆動時に印加される保持電圧の最適化法と多フレーム駆動特性⁸⁾の関係を検討してきた。ここで中間調制御法の検討については、パルス印加によるスイッチング過程がドメイン状態スイッチングであることよりスイッチング時に流れる電荷量と透過率には相関があるものと考えていたが、その直接的検証は課題であった。今回我々は、12ビット分解能を有するトランジェントメモリをコンピュータ接続することにより分極反転電流を高精度で測定し、得られた電荷量と透過率の相関関係を検討したので報告する。

2 実 験

実験には、代表的な反強誘電性液晶であるMHPOBCを用いた。相系列はCryst.(65.5°C)S_C* (119.9°C)S_C* (120.5°C)S_C* (122.0°C)S_{Cα} (122.9°C)S_A (148.7°C)Iso.である。配向剤としてポリアクリロニト

リル(PAN)を用い、130℃、90分で焼き付け、一方の基板のみをラビング処理した後、厚さ2μmのセルを作製した。液晶の注入は等方相で行い、S_{CA}*で封印した。測定温度は90℃とした。液晶セルは偏光顕微鏡、クロスニコル下電圧無印加状態で暗状態となるように設定した。

本実験で用いた測定系を図1に示す。任意波形発生器、ディジタイジングオシロスコープ、ホットステージをコンピュータ制御する従来の測定系に加え、今回12ビット分解能を有するトランジェントメモリを接続し、スイッチング時に流れる電流を10kΩの抵抗を介して測定した。駆動波形とそれに対応する透過率、電流を図2に示す。V_sはAFからF状態への相転移のための書き込みパルス電圧、V_Hは透過率の保持電圧、V_i、t_iは各々中間状態を得るために印加するインターバルパルスの電圧、パルス幅である。周期は60Hz、t_iは250~2000μsec、V_iは0~6Vの間で振った。このとき透過率はV_sによりAFからF状態に転移し、インターバルパルスにより中間状態となる。これをV_Hの印加により保持させる。この時点の透過率を測定した。このとき、書き込みパルス電圧V_sにより数μsec程度の時間でAFからFへの分極反転電流と容量の充電電流が流れる。その後のインターバルパルス印加により一方に150μsecの時定数で充電電流が流れ、それに重畳して1msec程度の範囲でF状態から中間状態への相転移に伴う分極反転電流が流れる。今回分極反転電荷を求めるために、先の150μsec程度の時間より予想される放電電流成分を指数関数で近似し差し引くことで分極反転電流を求めた。これを積分することで分極反転電荷量Q_pとした。インターバルパルス印加後に充電電流が流れ、保持電圧除去後に充電電流に重畳して中間状態からAF状態への分極反転電流が流れる。

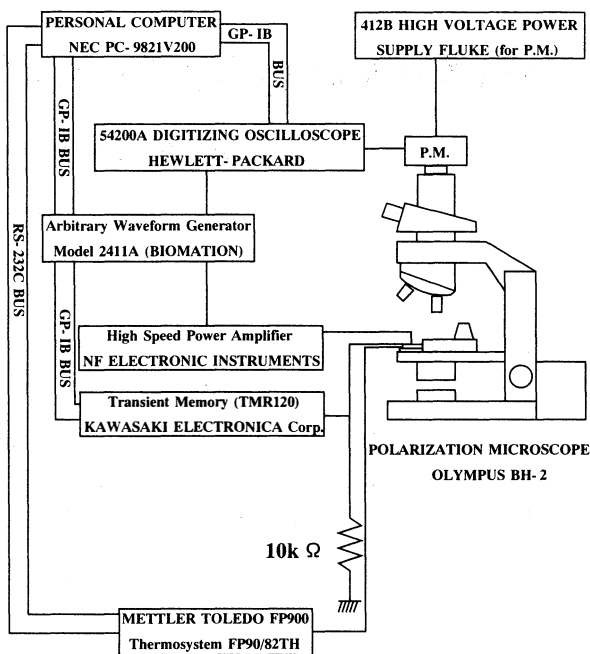


図1 測定表

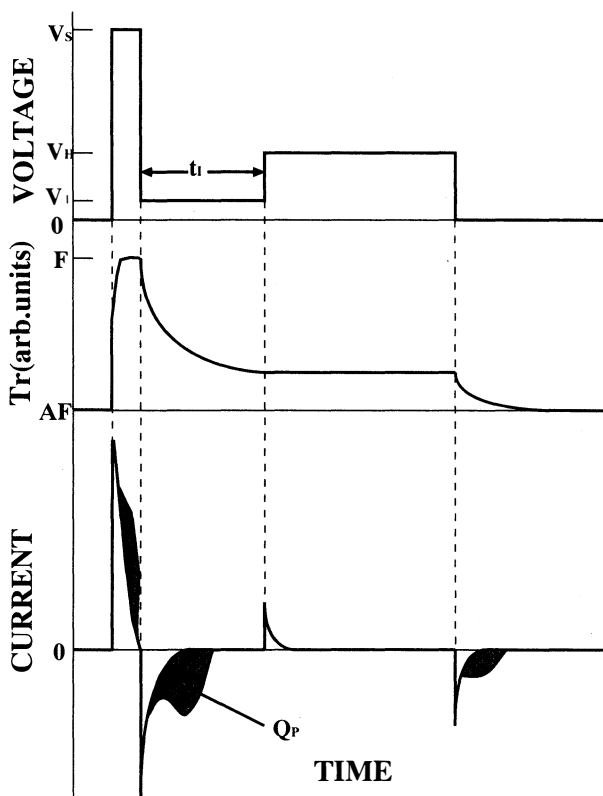


図2 応答波形の一例

3 実験結果

図3にインターバルパルス電圧と透過率の関係を示す。パルス幅が $500\ \mu\text{sec}$ 以下の場合には、 V_1 が 0V でも透過率はAF状態まで戻らなかった。インターバルパルス幅が $750\ \mu\text{sec}$ 以上ではFからAFの間の透過率変化が得られた。パルス幅が $500\ \mu\text{sec}$ のときは、 V_1 が 0.6V 以下で透過率変化が見られ、パルス幅が $2000\ \mu\text{sec}$ のときは、 V_1 が 1.5V 以下で変化するというように、パルス幅を広くするに従い変化の始まるパルス電圧値は上昇する。

図4にインターバルパルス電圧と電荷量の関係を示す。グラフの形は図3を縦軸について折り返した様な形となった。これは、分極反転電荷量に対応して透過率が変化していることを示している。また図3と比較して分極反転電荷量の小さな領域を見ると、インターバルパルス電圧のより大きな点から分極反転電荷が流れていることが分かる。これはF状態の分子のわずかながらの動きがあることによる。さらに、インターバルパルス幅が $750\ \mu\text{sec}$ のとき、インターバルパルス電圧が 0V 付近で分極反転電荷量が大きく出ている。この条件と対応した透過率変化を見ると、わずかながらAF状態よりずれていることが分かる。このように分極反転電荷の正確な測定により、わずかながらの状態変化が観測できる。

次に同じインターバルパルス電圧のときの透過率と分極反転電荷量の関係を図5に示す。これより、インターバルパルス電圧および幅に依存せず、透過率変化が分極反転電荷と一義的に対応していることが分かった。

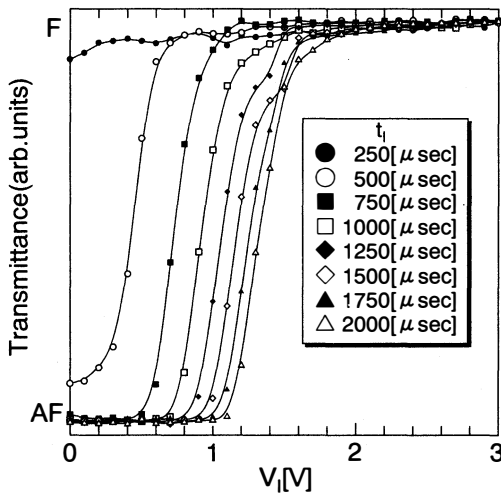


図3 Tr- V_1 特性

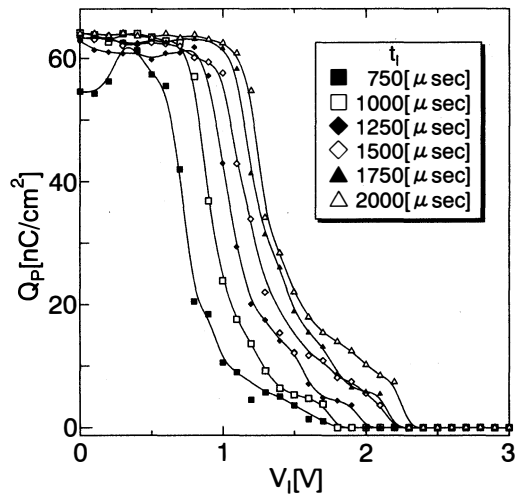


図4 Q_p - V_1 特性

4 結論

分極反転電荷量と透過率の相関について検討した結果、透過率が分極反転電荷量に対応していることが分かった。従って、分極反転電荷量を測定することで、液晶素子内の分子配列状態のより直接的な判定が可能になった。

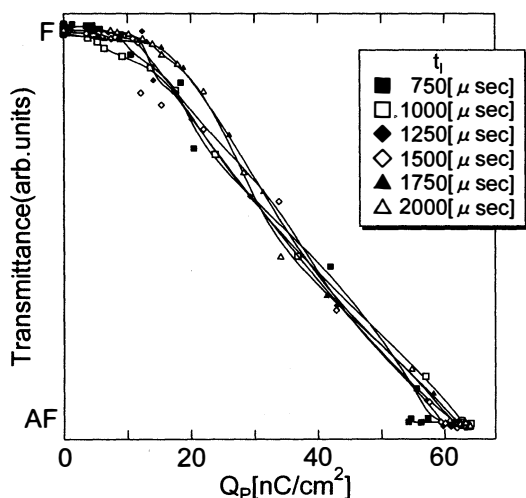


図5 Tr-Q_p 特性

謝 辞

液晶材料を提供いただいたチッソ石油化学(株)に感謝いたします。

参考文献

- 1) A.D.Chandani, T.Hagiwara, Y.Ouchi, H.Takezoe and A.Fukuda : Jpn.J.Appl.Phys. 27 (1988) L729.
- 2) K.Itoh, M.Johnno, J.Lee, Y.Takanishi, Y.Ouchi, H.Takezoe and A.Fukuda : 13th Int.Liq. Cryst.Conf. (Vancouver, 1990) FER-31-P-Mon.
- 3) T.Hagiwara, Y.Suzuki, Y.S.Negi, I.Kawamura, N.Yamamoto and K.Mori : 13th Int.Liq. Cryst.Conf. (Vancouver, 1990) FER-77-P-W/T.
- 4) M.Johnno, A.D.L.Chandani, J.Lee, Y.Ouchi, H.Takezoe, A.Fukuda, K.Itoh and T.Kitazume : Proc.9th.Int.Display Research Conf. (Japan Display'89) (SID and ITE, Kyoto, 1989) p.22.
- 5) Y.Yamada, N.Yamamoto, K.Mori, K.Nakamura, T.Hagiwara, Y.Suzuki, I.Kawamura, H.Orihara and Y.Ishibashi : Jpn.J.Appl.Phys.29 (1990) 1757.
- 6) K.Itoh, M.Johnno, Y.Takanishi, Y.Ouchi, H.Takezoe and A.Fukuda : Jpn.J.Appl.Phys.30 (1991) 735.
- 7) H.Okada, M.Watanabe, H.Onnagawa and K.Miyashita : Jpn, J.Appl.Phys.34 (1995) 375.
- 8) M.Watanabe, Y.Shimano, H.Okada and H.Onnagawa : Jpn, J.Appl.Phys.36 (1997) 767.

第58回秋季応用物理学会1997年10月発表

五目並べプログラムの基礎研究

松田秀雄, 澤柳一美, 宮腰 隆, 山淵龍雄, 中嶋芳雄

A Basic Reserch for The Programming of Go-Moku

Hideo Matsuda, Kazumi Sawayanagi, Takashi Miyagoshi,
Tatsuo Yamabuchi, and Yoshio Nakajima

In go-moku, two players move in turn placing a stone on an intersection of Go boards, and then the player who first makes a line of five consecutive stones wins the game. In this paper we treat programs using on the UNIX X window for Go-moku game of man vs. machine. Especially, we lay much emphasis on the search method for the information judging whether the game is decided with this, and it is possible or not that a stone put on an intersection. A line of six intersections including the present move is classified into eight patterns by the shape of stone arrangement, and the combination of a pair of those patterns is used to estimate the move.

Kye Words : Go-moku, game, man vs. machine, strategic search

1. はじめに

五目並べとは、二人の対局者が碁盤の目に黒石と白石とを交互に置いていって、同じ色の石が縦、横、斜めのいずれかの方向に先に連続して五個並べば、“五”になったとって勝ちとするゲームである。子供にでもすぐできるこのゲームも機械にやらせるとなると、人間同士が行っている思考過程を一々模索して教え込まねばならず、人工知能の恰好の題材となる。例えば、通常五個まで石が並ばなくても、その先に、これは“四三である”とって、勝負がついたとして止めてしまう。五目並べに少し馴れた人間なら、これを並べられた石の形で見分けてしまう。又、“三三”のように禁止手もあり、これも、人間なら一目で分かる。しかし、機械にこれらのことを教え込むには、総当たり式に盤面を調べる方法しかない。効率的な方法というのは、如何に調べる範囲を狭められ、且つ、データ処理を能率的に行えるかにかかってくる。本研究では人間とコンピュータが五目並べをするプログラムについて、今まで行ってきた研究について述べる。特に、これで勝負がついたかどうか、とか、そこに石がおけるかどうかを判定するための情報を集める検索部分に重きを置いて記述する。

2. 方 法

プログラムはUNIX上のC言語で書かれ、Xウインドウ上のアプリケーションとして開発してい

る。まず、プログラムの構成要素は以下のようである。

2.1 プログラムの構成

2.1.1 メインプログラム部分 ゲームが開始されると、まず、この部分に実行権が渡される。ここで、グローバル変数（全部の関数から呼び出される変数）の初期化や、終了作業をする。ウィンドウ上で動作するプログラムなので、gcの取得やウィンドウの生成等もしている。

2.1.2 描画部分 ここでは、ウィンドウに碁盤を描いたり、石を表示したりする部分である。Xウィンドウにおいて‘Expose’というイベントが発生する。これはウィンドウが動いたり、他のウィンドウに隠れて又一番上に来たときなどに発生する。このイベントが生じたら、ウィンドウ内を再描画しないと、中のものがきちんと表示されなくなる。このため‘Expose’イベントを監視し、発生したら再描画するようにする。又、マウスのイベントも監視し、押された位置を判定する。

2.1.3 制御部分 制御部分でユーザーとコンピュータの各順番を決めて、交代交代で手番を実行させるようにする。これは基本的には内部にカウンタを設けて、それを奇数か偶数かで判断させているだけである。

2.1.4 ユーザ（人間）部分 ユーザーの場合の処理をする。ゲームはマウスを用いて石を置くのでマウスのイベントを呼び出して、実際の位置を調べる。その位置を碁盤の座標に変換してそこに石が置けるかどうか、勝ったかどうかの判断をする。

2.1.5 コンピュータ部分 コンピュータの思考部分と制御部分に分かれる。五目並べのプログラムの神髄は、実に、この思考部分のルーチンの出来映えにかかるが、本報告ではまだ研究に着手したばかりなので、先読みの技法は入っていない。現在の盤面のみの情報から判断する方法をとっている。処理の優先順位として、(1) コンピュータが置ける五、四三などを打つ、(2) ユーザが置いた四、三などを止める。(3) コンピュータが置ける四、三などを打つ、(4) コンピュータにとって有利と思われる手を打つ、ということにする。

2.1.6 検索部分 ユーザー（あるいはコンピュータ）が石を置いた位置の周りの情報を読み取る部分である。

2.1.7 判定部分 判定部分は検索部分で読み取った情報からその手が何であるかを判定する。

2.2 検索方法

便宜上、黒石の番で説明する。今、一着手置いた石の周りの情報を検索するため、ここでは石の並びをあるパターン毎に分けて取り扱うことにする。

打った石を中心に盤の目の8つの方向に、図1のような0から7までの番号を割り当てて、それぞれの方向を表すことにする。検索時に収集する情報を表すため次の三つの変数を使う。

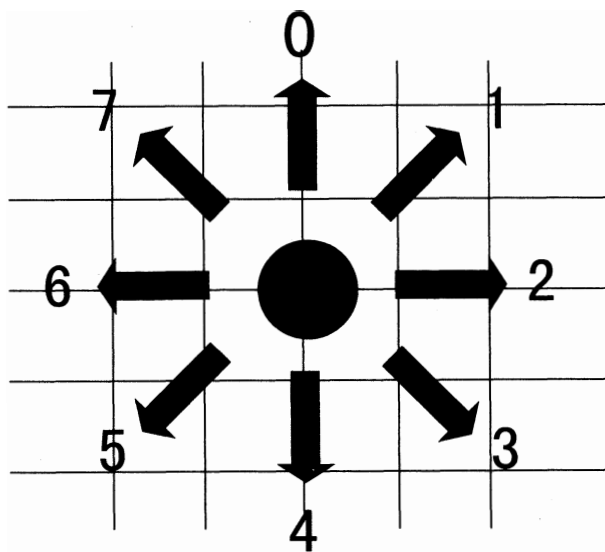


図1 検索時の方向の番号

0 から 7 までの方向の
石の並びの状態を表す

Sta [0~7] : 16進数
4桁

置いた石を含む連続
した石の並んだ数を表
す変数

Row [0~7] : 自然数
一直線上に直したと
きの石の並んだ数を表
す変数

Total [0~3] : 自然数

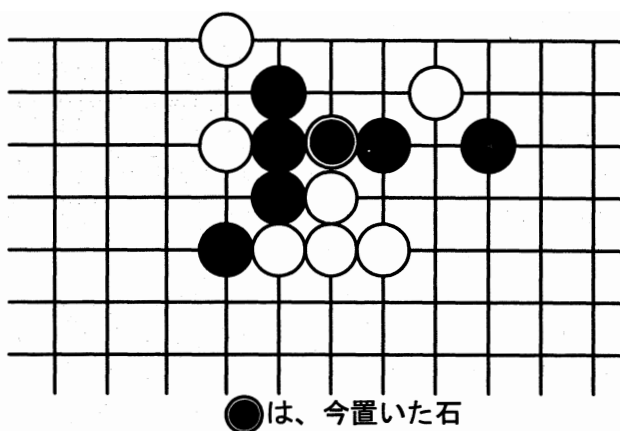


図2 石の並びの例

これらの中, Row [0~7] は,
単に八つの方向のそれぞれの
連続して並んだ石の数を数え
るだけである。変数 Total は 8
方向に数えた Row をそれぞれ
四つの方向の一直線上にある
もの同士を纏めたもので, $m =$
0, 1, 2, 3として,

$$\text{Total}[m] = \text{Row}[m] + \text{Row}[m+4] - 1$$

である。

状態変数 Sta [m], 但し,
 $0 \leq m \leq 7$, は初期値を 0x0000
としておいて,

(s1) 空白 (目に石がない)
のとき, 2bit 左にシフトし,
0x0001 を加える

(s2) 同じ色の石のとき, 2bit
左にシフトする

(s3) 違う色の石のとき,
0x0400 を加える

なお, これらの情報は打った
石 ● (本文中は ◆ で表す)
の隣から数えて, 最大 5 個先の
目の石の状況まで集めればよ
い。途中で, 異色の石があるか,
三つ空白が続いたら, その先は
計算不用とする。

図2の石の並びについて, こ

表1 収集した情報 (8方向)

n	Sta[n]	Row[n]	Patern ()
0	0x0405	1	O
1	0x0405	1	O
2	0x0045	2	B
3	0x0015	1	A
4	0x0400	1	X
5	0x0015	3	A
6	0x0400	2	X
7	0x0400	2	X

表2 4方向に直した情報

$$\text{Total}[m] = \text{Row}[m] + \text{Row}[m+4] - 1$$

m	Total[m]	Patern (m)	Patern (m+4)
0	1	O	X
1	3	O	A
2	3	B	X
3	2	A	X

これらの変数の数値を計算してみる。

Row は各方向の連続した石の数を数えるだけであるから、例えば、2 の方向の石の並びは $\blacklozenge \bullet + \bullet ++$ である故 Row [2] は2である。その他の方向も求めたのが、表1の Row [n] の欄である。又、本例の Total [m] は表2の、Total [m] の欄になる。次に、[n] について計算したのが、図3である。0、及び1方向の場合でみると、

$\blacklozenge ++$ なし になっている。
 まず、Sta [n] (n=0, 1) の初期値0000-0000-0000-0000、
 一つ先が+なので (s1) により、Sta [n] = 0000-0000-0000-0001、
 二つ先も+なので、同じく (s1) 0000-0000-0000-0101、
 三つ先はなし (盤外) なので異色の石があるとみなして、(s3) を適用0000-0100-0000-0101、
 四つ先、五つ先は、3つ先が異色の石のため検索する必要がない。図3、0、1、方向の表は以上を纏めたものである。表右端の列は Sta [n] を16進数表示している。2の方向の石の並びは

$\blacklozenge \bullet + \bullet ++$ で、Sta [2] について、計算したのが図3中、2方向の表である。Sta [2] の初期値は1行目0000-0000-0000-0000、一つ先は黒なので、(s2) で2行目のように変わらない。二つ先は+なので、(s1) により、同表3行目、三つ先は黒、(s2) により、Sta [2]

0、1方向 $\bullet ++$ なし (○)

	状態	2進数表示	16進数表示
初期値	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
1つ先	+	0000 0000 0000 0001	0x0001
2つ先	+	0000 0000 0000 0101	0x0005
3つ先	なし	0000 0100 0000 0101	0x0405
3つ目がない(異色)ため検索終了			

Patern O

2方向 $\bullet \bullet + \bullet ++$

	状態	2進数表示	16進数表示
初期値	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
1つ先	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
2つ先	+	0000 0000 0000 0001	0x0001
3つ先	●	0000 0000 0000 0100	0x0004
4つ先	+	0000 0000 0001 0001	0x0011
5つ先	+	0000 0000 0100 0101	0x0045
五つ先まで見たため終了			

Patern B

3方向 $\bullet +++$

	状態	2進数表示	16進数表示
初期値	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
1つ先	+	0000 0000 0000 0001	0x0001
2つ先	+	0000 0000 0000 0101	0x0005
3つ先	+	0000 0000 0001 0101	0x0015
三つ空白が続いたため終了			

Patern A

4方向 $\bullet \circ$

	状態	2進数表示	16進数表示
初期値	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
1つ先	○	0000 0100 0000 0000	0x0400
異色の石があったため終了			

Patern X

5方向 $\bullet \bullet \bullet +++$

	状態	2進数表示	16進数表示
初期値	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
1つ先	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
2つ先	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
3つ先	+	0000 0000 0000 0001	0x0001
4つ先	+	0000 0000 0000 0101	0x0005
5つ先	+	0000 0000 0001 0101	0x0015
五つ先まで見たため終了			

Patern A

6、7方向 $\bullet \bullet \circ$

	状態	2進数表示	16進数表示
初期値	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
1つ先	●	0000 0000 0000 0000	0x0000
2つ先	○	0000 0100 0000 0000	0x0400
異色の石があったため終了			

Patern X

図3 Sta [] の計算例

は四行目0000-0000-0000-0100となる。四つ先、五つ先は共に+なので、(s1)を各適用して、Sta [2] は5行目、6行目のように計算される。5つ先までしらべたので、2の方向の探索はこれで終わる。3の方向の石の並びは◆+++である。Sta [3] について、計算したのが図3中、3方向の表であるがこの場合は空白が三つ続くので、Sta [3] の計算は止める。図3にはその他の方向のSta [n] の計算も載せている。各方向の最終的に求めたSta [n] を表1のSta [n] の欄に纏める。

2.3 判定方法

2.3.1 石の並び方とパターン化 表3は一つの方向の予想される全ての石の並び方を48種類の石の並びに分類したもので、それぞれで、Sta [] の値は同じになる。又、次の一手を決める評価値が同じになるものを、A, B, C, D, E, F, O, Xの八つのパターンに分けている。但し、No. 36のパターンの欄が特殊となっているのはこの並びでは打った石の5個隣まで、Sta [] の値を計算しても、初期値0x0000のまま変わらなかった場合で、これは黒石が連続6つあり、長連で負けで、実戦であり得ないことを表す。No.37からNo.48までは、このような石の並びでは、左から順にSta [] の値を計算していっても、途中で、もう計算しなくてもよいという条件が満たされて、實際上、

表3 石の並び方とSta [], パターン対応表

No.	Sta []	石の並び方	パターン
1	0x0000	●	特殊
2	0x0001	●+	A
3	0x0004	●+●	X
4	0x0005	●++	A
5	0x0010	●+●●	X
6	0x0011	●+●+	B
7	0x0014	●++●	O
8	0x0015	●+++	A
9	0x0040	●+●●●	X
10	0x0041	●+●●+	D
11	0x0044	●+●+●	E
12	0x0045	●+●++	B
13	0x0050	●+●●●	O
14	0x0051	●+++●	O
15	0x0054	●+++●	存在せず
16	0x0055	●++++	存在せず
17	0x0100	●+●●●●	X
18	0x0101	●+●●●+	F
19	0x0104	●+●●+●	D
20	0x0105	●+●●++	C
21	0x0110	●+●+●●	E
22	0x0111	●+●+●+	E
23	0x0114	●+●++●	B
24	0x0115	●+●+++	B
25	0x0140	●+●●●●	O
26	0x0141	●+●●●+	O
27	0x0144	●+++●+	存在せず
28	0x0145	●+++●+	存在せず
29	0x0150	●+++●●	存在せず
30	0x0151	●+++●+	存在せず
31	0x0154	●++++●	存在せず
32	0x0155	●+++++	存在せず
33	0x0400	●○	X
34	0x0401	●+○	O
35	0x0404	●+●○	E
36	0x0405	●++○	O
37	0x0410	●+●●○	D
38	0x0411	●+●+○	B
39	0x0414	●+++○	O
40	0x0415	●+++○	存在せず
41	0x0440	●+●●●○	F
42	0x0441	●+●●+○	C
43	0x0444	●+●+●○	E
44	0x0445	●+●++○	B
45	0x0450	●+●●●○	O
46	0x0451	●+++●○	存在せず
47	0x0454	●+++●○	存在せず
48	0x0455	●++++○	存在せず

現れて来ない石の並びである。表中の“石の並び方”の欄を説明しよう。この欄の全行にわたって左端に黒石がある。この黒石はSta [] の値を計算する過程で、黒石がいくつも（一つの場合も含めて）連続して並んでいたとしたら、その最後の黒石を表している。Sta [] の値はそのあと、欄の石の並び方が●か+か○かになっている間計算が続けられ、空白が表れるところで、最終値（表中、2列目のSta [] の欄の値）が決まる。例えば、図2の例題の0, 1方向の石の並びは◆++なし（白石○があるとみる）で、黒石の連続した並びは◆だけで、◆++なし（○）でSta [] の値は決まる（図3の0, 1方向の表）。表3ではこれは、36行目Sta [] の値0x0405の石の並びに当てはまる（パターンO）。例題の2方向の石の並びは◆●+●++で、連続した石◆●の右石から数えて●+●++でSta [] の値が決まった（図3の2方向の表）。これは表3の12行目Sta [] の値0x0045の石の並びに当てはまる（パターンB）。3方向の石の並びは◆+++で図3の3方向の表で計算したように、Sta [] の値0x0015はこの並びで決まるので、表3の8行目の石の並びに当てはまる（パターンA）。4方向の石の並びは◆○で、図3の4方向の表で計算したように、Sta [] の値0x0400はこの並びでだけで決まるので、表3の33行目の石の並びに当てはまる（パターンX）。5方向の石の並びは◆●●+++で、連続した石の右端からみた石の並びは●+++で、表3の8行目Sta [] の値0x0015の石の並びに当てはまる（パターンA）（図3の5方向の表でSta [] の値を計算している）。6, 7方向の石の並びは◆●○で、連続した石の右端からみた石の並びは●○で、表3の33行目Sta [] の値0x0400の石の並びに当てはまる（パターンX）（図3の6, 7方向の表でSta [] の値0x0400は計算済み）。表1のPatern () の欄はこのようにして得られた8つの方向のパターンを示したものである。表2は一直線上にある二つの方向のパターンをm (0, 1, 2, 3の方向を示す数値) ごとに、纏めたものである。この2つずつのパターンの対を使って、図4でいま打とうとしている石の判定を下す。

図2の配石の例題で、更に、このことを説明する。この例題の4つの方向のTotal [] の値とパターンの対は表2に既に求まっている。まず、mが0の方向はTotal [] = 1, パターンの対 (O, X) である。このとき、図4のTotal [] = 1の表で、O行X列をみる。“なし”となっている。これは三とか四とかといった直ぐに勝利に結びつく手ではないということをいっている。次に、mが1の方向はTotal [] = 3, パターンの対 (O, A) である。同じようにして、図4のTotal [] = 3の表で、O行A列をみる。“三”になっている。これは三の手が出来たということはいっている。mが2の方向はTotal [] = 3, パターンの対 (B, X) である。同じく、図4のTotal [] = 3の表で、B行X列をみる。“飛び四”になっている。これはこの方向に飛び四が出来たということはいっている。最後に、mが3の方向はTotal [] = 2, パターンの対 (A, X) である。図4のTotal [] = 2の表で、A行X列をみる（“-”になっているときは行と列を入れ替える）。“なし”になっている。これもいま直ぐ三とか四とかといった直ぐに勝利に結びつく手ではないということはいっている。実際、図2をみると、◆の石に対して上の判定が正しく行われていることが分かる。

図4は各パターンの相互関係を見て、これとこれを組合わせたらどんな手が出来るかを調べて作った表で、比較的小さく判定が纏められた。

2.4 検索時間の測定例

目に石がない場合には空石があると考える。五目並べの（三になるとか、四になるとか、五になるとかといった評価の高い手を見分ける）判定アルゴリズムを作るには、置いた石◆の左右5個ずつ計11個の石の並びをみれば十分である。◆から6つ離れた目に黒石が置かれていても、◆と直接結びついて評価の高い手になることはない。そこで、11個の石の並びを数列パターンで表す方法について検討し別途報告した^{1), 2)}。又、11個の石の並びは、それぞれの目で黒石か白石か空石かであるから3¹¹通りある。これらの全てについて評価値を求めておいて表にし、判定にこれを引用する方法もプログラ

Total l=1

Pattern	A	X	B	C	D	E	F	O
A	なし	-	-	-	-	-	-	-
X	なし	なし	-	-	-	-	-	-
B	なし	なし	なし	-	-	-	-	-
C	飛び三	なし	なし	なし	-	-	-	-
D	なし	なし	なし	なし	なし	-	-	-
E	なし	なし	なし	なし	なし	なし	-	-
F	飛び四	飛び四	飛び四	飛び四	飛び四	飛び四	四々	-
O	なし	なし	なし	飛び三	なし	なし	飛び四	なし

Total l=2

Pattern	A	X	B	C	D	E	F	O
A	なし	-	-	-	-	-	-	-
X	なし	なし	-	-	-	-	-	-
B	飛び三	なし	なし	-	-	-	-	-
C	飛び四	飛び四	四三	四々	-	-	-	-
D	飛び四	飛び四	四三	四々	四々	-	-	-
E	なし	なし	なし	飛び四	飛び四	なし	-	-
F	なし	なし	なし	飛び四	飛び四	なし	なし	-
O	なし	なし	飛び三	飛び四	飛び四	なし	なし	なし

Total l=3

Pattern	A	X	B	C	D	E	F	O
A	三	-	-	-	-	-	-	-
X	なし	なし	-	-	-	-	-	-
B	飛び四	飛び四	四々	-	-	-	-	-
C	なし	なし	飛び四	なし	-	-	-	-
D	なし	なし	飛び四	なし	なし	-	-	-
E	飛び四	飛び四	四々	飛び四	飛び四	四々	-	-
F	なし	なし	飛び四	なし	なし	飛び四	なし	-
O	三	なし	飛び四	なし	なし	飛び四	なし	なし

Total l=4

Pattern	A	X	B	C	D	E	F	O
A	勝利四	-	-	-	-	-	-	-
X	四	なし	-	-	-	-	-	-
B	四	四	なし	-	-	-	-	-
C	四	四	なし	なし	-	-	-	-
D	四	四	なし	なし	なし	-	-	-
E	四	四	なし	なし	なし	なし	-	-
F	四	四	なし	なし	なし	なし	なし	-
O	勝利四	四	四	四	四	四	四	勝利四

Total l=5

Pattern	A	X	B	C	D	E	F	O
A	勝利五	-	-	-	-	-	-	-
X	勝利五	勝利五	-	-	-	-	-	-
B	勝利五	勝利五	勝利五	-	-	-	-	-
C	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	-	-	-	-
D	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	-	-	-
E	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	-	-
F	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	-
O	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五	勝利五

Total l=6~9

Pattern	A	X	B	C	D	E	F	O
A	長連	-	-	-	-	-	-	-
X	長連	長連	-	-	-	-	-	-
B	長連	長連	長連	-	-	-	-	-
C	長連	長連	長連	長連	-	-	-	-
D	長連	長連	長連	長連	長連	-	-	-
E	長連	長連	長連	長連	長連	長連	-	-
F	長連	長連	長連	長連	長連	長連	長連	-
O	長連	長連	長連	長連	長連	長連	長連	長連

図4 各パターンの相互関係

ム化している²⁾。これら二つの方法と今回のパターン表を用いた方法の探索時間を図5の配石で比べてみた。探索時間とは図5の配石で碁盤の一つ一つの目に石が置ける所に石を置いていったと仮定して、それぞれの手で評価値を求め、その中で、最もよいと思われる手を決定するまでの時間である。

数列パターンにより判定する方法	: 304 秒	使用計算機
3 ¹¹ 通りの表を用いる方法	: 103 秒	JCC (日本電算機) JS 5 / 85
本法のパターン表を用いる方法	: 98 秒	OS : SunOS 4.1.4

3¹¹通りの表を用いる方法はメモリを多く使うので、逐一その都度計算する数列パターンにより判定する方法より早くなるのは当然だが、本法のパターン表を用いる方法は3¹¹より相当少ないメモリしか使わないのに、より小さい時間で探索ができた。

なお、ここでは、各手に次ぎのような評価値を仮定した。

- “三のとき” : 6937
- “四のとき” : 2325
- “飛び三” : 581
- “飛び四” : 145
- “飛び五” : 9
- “長連になりそうなとき” : 2
- “置けない手” : 1
- “勝ち” : 1000
- “通常の手” : 36

どの手がどの手より評価値を高くするかは重要なことであるが数値そのものには余り意味がない。

図6にプログラム xgomoku のゲーム画面を示す。

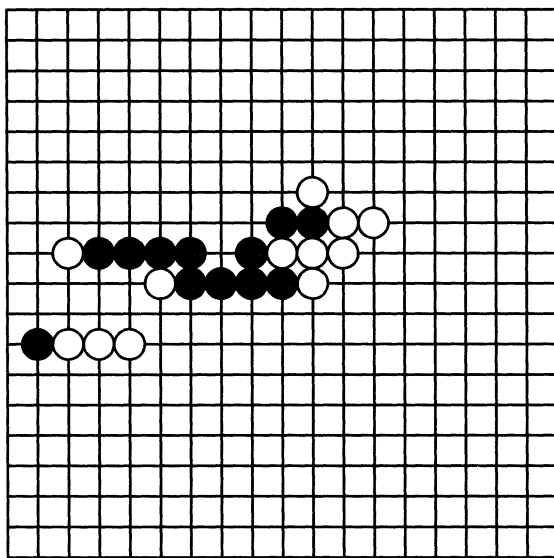


図5 検索プログラムの実行時間テスト用石の並び方

3. ま と め

五目並べのプログラムにおいては石を一手置くごとに、そこに石がおけるかどうか、又、四三になっているかどうかといった判定が必要で、そのために、周りの石の並びを探索して評価する効率的な方法を見つけることがゲーム全体を高速化するのに重要な課題の一つである。本稿では、すべての石の並びを同じ評価値を与える可能性のあるもの同志に分類して八つのパターンに分けた。打った石を中心にして、一方向を考え、その線上に連続して並んだ石の数と打った石の両方向のパターンの対からその手の評価値が判断できるように表を作った。この判定表に要するメモリ量は我々の既発表のものより小さく、一例についてはあるが、短い探索時間で判定できることも示した。目下のところ、思考ルーチンには、先読みするといった高度な技法が入っていないが、今後改善していきたい。

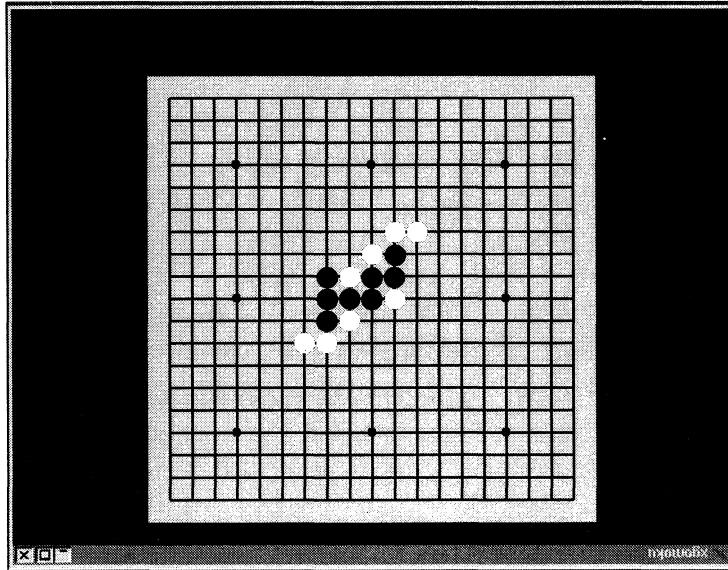


図6 xgomoku のゲーム画面

参考文献

- 1) 奥原竜也, 松田秀雄, 宮腰 隆, 中嶋芳雄: 連珠 (五目並べ) の勝負判定アルゴリズムについて, 平成8年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集 E-9 (1996).
- 2) 奥原竜也: 五目並べのプログラムの基礎研究1, 平成8年度富山大学工学部卒業論文

平成9年度電気関係学会北陸支部連合大会で一部発表

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes the need for transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods and techniques used to collect and analyze data. It includes a detailed description of the experimental procedures and the statistical analysis performed.

認知の能動性に関する予備研究

北林 行雄, 郭 立新, 黒田 靖子,
加藤 ジェーン, 川田 勉, 中山 剛

A Preliminary Study on Activity of Cognition

Yukio Kitabayashi, Lisheng Guo, Yasuko Kuroda
Jien Kato, Tsutomu Kawata and Takeshi Nakayama

Cognitive property of Japanese surnames having peculiar intimacy to each of Japanese as an individual label was investigated. The frequencies of 5778 surnames taken from directory of a society including 30,000 members were investigated. Twenty subjects assessed the intimacy of surnames sampled from above mentioned 5778 surnames. Average scale values of intimacy for sampled surnames were found to be proportional to logarithms of frequencies. As a result of factor analytic study of intimacy, two factors were extracted. Quantitative relationship among frequencies and those factors was examined.

Key words : active cognition, Japanese surnames, frequency, intimacy scales,
factor analysis

1 ま え が き

人間による外界の認知は、機械認識と異なり、認知が能動的であることが特徴である。テレビカメラやマイクロホン等を通した機械的な情報の取り込みは、全く無選択的であるのに対し、視覚や聴覚による認知は極めて選択的であり、認知を行なう人間にとって必要のない情報は無視される。この現象は、聴覚の世界では、古くからカクテルパーティ効果として知られ、その機構の解明が試みられてきたが、まだ完全には明らかでない。この効果は、パーティなど、周囲で大勢の人の話し声がする場合でも、誰かが自分の名前を云うと聞こえたり、離れたところで話している人に注意を集中するとその人の話を聞くことができるといった聴覚における選択的認知に関するものである。また、視覚の世界でも、眼の網膜の解像度の特性は均一でなく、中心か (fovia) と呼ばれる部分を中心に視角にして+3度程度のごく狭い範囲だけが解像度特性が高く、それをとりまく周辺部は解像度が低い替わりに動きに対して敏感であるといわれている。したがって、人間は外界の視覚的情報を得ようとする場合には、見ようとする対象に頭の運動と眼球運動を組み合わせ、かつ、レンズとして作用する水晶体の焦点を調整して、中心か上に像を結ぶような、能動的な活動が必要となる。

近年、人工知能の世界で、人間の認知機構を計算機に取り入れ、計算機による外界の認識を柔軟なものにしようとする研究が行なわれている。我々も、こうした研究の一貫として、人間の姓のもつ認

知的特徴に着目し、これを材料として認知の能動性の一貫を解明しようと考えた。姓は個人のラベルとしての特性を持ち、その認知は特定の個人にとって特別な意味を持っている。すなわち、自分の姓は非常に高度な親近性を持ち、カクテルパーティ効果に代表されるように、認知される度も他の人の姓よりはるかに大である。したがって、姓の持つ特性を明らかにし、これと認知特性との関係を調べることにより、人間の認知特性の側面を解明できるものとする。その研究の第一歩として、本報告では、日本人の姓の出現頻度を調べ、同時に、個々の人間にとっての姓の親近度の特性を明らかにし、頻度と親近度の関係付けを行なった。これをベースとして姓の認知特性の研究を進めたい。

2 研究目的

姓の属性として考えられる出現頻度を調査すると共に、個々の被験者にとっての姓の親近度の評価を行ない、親近度を構成する因子を求めて、これと頻度との関係を明らかにする。

3 姓の出現頻度の調査

実験に使用する日本人の姓のデータは全国規模の約3万人の名簿から収集した [1, 2]。丹羽の研究によれば日本人の姓の数は世界中で最も多く、約14万に及ぶ [3] と云う。ただし、出現頻度の高いものから5000で全戸数の92%, 100で37%となる。今回収集したデータは姓の数が5778種あり、姓ベストテンも過去の調査とほぼ同一で、データベースとして妥当なものと考えられる。

出現頻度の高い姓から順にクラスタ分けし、クラスタ毎の出現頻度と含まれる姓の数の関係を図1に示す。最初にリニアスケールで均等配分を試みたが、全体の姓の99%が出現頻度が最も低いクラスタ5に集中したので、対数スケールでクラスタ配分を行い、各クラスタに分散するようにした。

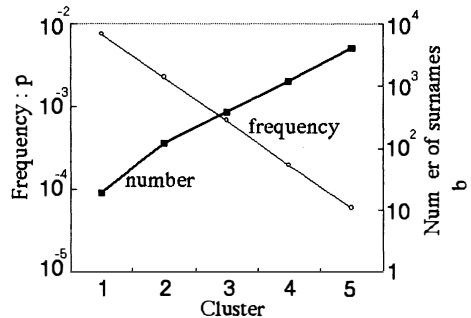


図1：クラスタ毎の出現頻度と姓の数

4 姓の親近度の評価

4.1 評価対象

後述の姓の読みを表す文字列を音節列に変換した刺激の聴取実験に使用する姓を評価対象とした。これはクラスタ1, 3, 5から選んだ78の姓と被験者が所属する学科の教官5名の姓および被験者自身の姓の計84の姓で構成される。

4.2 実験方法

84の姓に対して20名の大学生に以下の5段階の評価尺度による評価を行わせた。

- 5 非常に親近性を感じずる。
- 4 やや親近性を感じずる。
- 3 どちらでもない。

- 2 あまり親近性を感じない。
- 1 全く親近性を感じない。

なお、事前に提示した姓が被験者にとって好き嫌いで判断するのではなく、親近性すなわち身近なものであるか否かの判断であるとの教示を与えた。

4.3 実験結果

結果を図2に示す。横軸は姓の出現頻度の対数値であり、縦軸は抽出した84個の姓について被験者20名が回答した親近度の平均値である。この図から姓の出現頻度と親近度には正の相関関係があることが分かる。また、図2中に表記するようなクラスタによる3つのかたまりが見られる。図に見るように高頻度のものほど親近度が高いことが分かる。なお、図で、白点で表示したものは被験者が所属する学科の教官の姓で、頻度とは別の要因で親近度が高いと考えられる。図中の直線は教官の姓を除いた姓の親近度の被験者平均値と出現頻度の関係を次式で近似したものである。

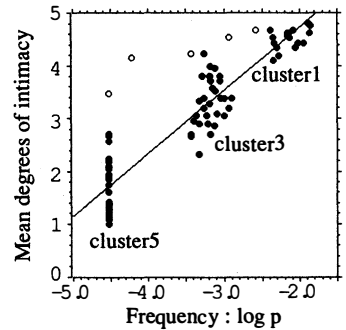


図2：姓の頻度と親近度の関係

$$s = 7.15 + 1.223 \log_{10} p \quad (1)$$

4.4 親近度の因子分析

4.4.1 因子分析モデル

図2で見られた関係を更に詳細に解明するために因子分析 [4] を行った。 s_{ij} を被験者 i の姓 j に対する親近度評点とすると、これは次のような因子構造を持つと考えられる。

$$s_{ij} = a_{i1}x_{1j} + a_{i2}x_{2j} + \dots + a_{ik}x_{kj} + \dots + a_{im}x_{mj} + \varepsilon \quad (2)$$

ここで、

$$i=1,2,\dots,n$$

$$j=1,2,\dots,N$$

$$k=1,2,\dots,m$$

で、 i は被験者番号、 j は姓の番号、 k は因子である。 a_{ik} は被験者 i の因子 k に与える重み、すなわち因子負荷量を表し、 x_{kj} は j 番目の姓が因子 k を含む度合い、すなわち因子得点である。 ε は m 個の因子で説明できない独自因子の分散である。このモデルに対応する因子分析は被験者相互間の姓 j に対する親近度評点 s_{ij} の相互相関係数行列を求め、これを因子分析することによって実現される。この際、因子数は相関行列の固有値の大きさが1以上となる基準で決定した。その結果、2因子が抽出された。因子負荷量の推定には主因子分析法を使い、バリマックス法により直交回転を行った。直交回転後の因子負荷量をプロットしたものを図3に示し、直交回転後の因子得点を図4に示す。

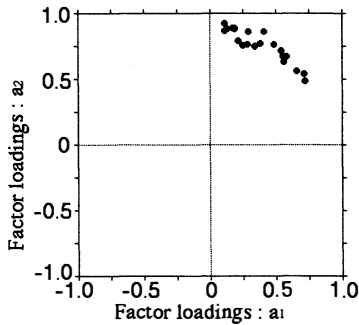


図3：直交回転後の第1—第2因子負荷量の布置

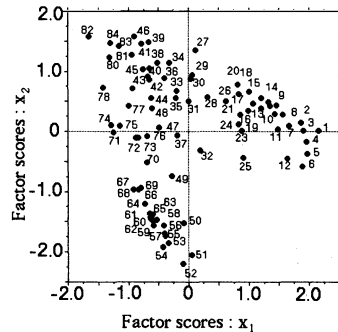


図4：直交回転後の第1—第2因子得点の布置

4.4.2 因子構造の分析

図3からすべての因子負荷量が第一象限にある。因子得点の布置を表す図4において点の番号1が被験者自身の姓であり、横軸で高い正の値を示す各点は佐藤、鈴木、田中など日本人で頻度の高い姓である。一方縦軸の特徴としては負の大きな値を示す姓は [めら](図中の52), [うざぎ](51), [しらそう](54), [せんた](53)等であり、日本人の姓に一般的な漢字表現が簡単に思いつかないものである。ところで、図4の直交回転で明らかに逆V字型の構造が見られるが、因子得点が両因子軸上に重複して値を取っているため因子の意味付けが明確な形で行い得ない。そこで、それぞれの因子軸に対して該当する因子得点が最大となり、その他の因子に対して最小となるような単純構造を得るための斜交回転を行った。

斜交回転した時の因子負荷量を図5に、因子得点を図6に示す。なお、斜交回転における相反軸の回転角は32度である。図5から分かるように因子負荷量が第1因子、第2因子ともほぼ0.5以上であり、個々の被験者が両因子に積極的な重みを与えていると云える [4]。また、図6は図4よりかなり見やすい単純構造になっている。横軸が第1因子得点に対応するが、正の最も高い値を示すプロット1が被験者名に該当し、2が [たなか], 3が [すずき], 7が [さとう], 8が [やまもと] で、それぞれ高頻度の姓である。また、4, 5, 6はいずれも担当研究室の教官の姓で、後述するように今回目標刺激に選んだものである。そして、値が小さくなるにつれて、低頻度の姓、または被験者に馴染みの薄い姓が現れている。従って、この第1因子は身辺性に関する因子と解釈する。

一方、縦軸は第2因子を表すが、原点から離れた、負の値が最も大きい所にかたまりが見られる。図6中のプロット52~65の点の集団である。これらの姓は上記のように [めら], [しらそう], [せんた], [しのみ], [ねだ] 等で代表される音を聴いてすぐに日本語の漢字を当てはめ難い姓である。漢字は表意文字であるから、漢字に変換し難いという事は意味のある組み合わせが作り難いことである。その一方、原点に近い点にある姓は84 [つかだ], 83 [ひらさわ], 82 [みずはら], 80 [おのでら] 等で、それぞれ [塚田], [平沢], [水原], [小野寺] と漢字にすぐ変換することができる。従って、第2因子は意味を表す尺度と考え、ここでは意味性の因子と解釈した。以下の記述では第1因子を身辺性と呼び、第2因子を意味性と呼ぶことにする。なお、斜交回転は直交回転とは異なり、因子間が完全独立ではなく、相互の角度32度の余弦、すなわち0.85の相関があることになる。図6の場合、身辺性の高い姓には漢字に変換しやすい意味な姓が多く見られること、また、漢字に変換し難い姓は馴染みが薄い傾向があることから、身辺性と意味性が完全独立でないことが分かる。

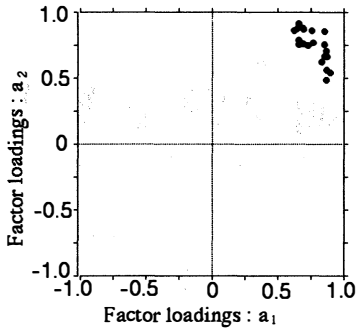


図5：斜交回転後の第1-第2因子負荷量の布置

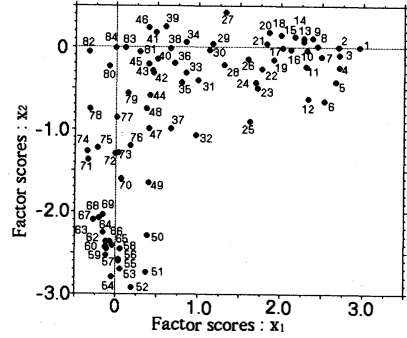


図6：斜交回転後の第1-第2因子得点の布置

5 考 察

身辺性尺度（第1因子得点）と頻度の関係を図7に、意味性尺度（第2因子得点）と頻度の関係を図8に示す。頻度と第1因子得点との間の関係を概略的に把握するために図7の曲線に示すように2次の多項式近似を行った。第1因子得点を x_1 で表し、頻度 p の対数を ρ で表すと、 x_1 と ρ の関係は次式で近似することが出来る。

$$x_1 = 6.85 + 2.773\rho + 0.277\rho^2 \quad (3)$$

$$\rho = \log_{10} p \quad (4)$$

一方、図8では多項式近似曲線は上に凸の曲線となり、低頻度の姓ほど ρ に対する第2因子得点 x_2 の変化が大きく、高頻度の姓の第2因子得点の増加は飽和する傾向を示している。このことは中頻度以上の姓は概して意味性が大であること、低頻度の姓は分散が大きいが、意味性が低い姓が多いことを意味する。図8における第2因子得点 x_2 と頻度の対数 ρ の関係は次式で近似される。

$$x_2 = -2.498 - 2.157\rho - 0.454\rho^2 \quad (5)$$

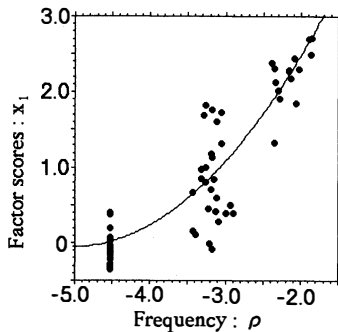


図7：頻度と第1因子得点の関係

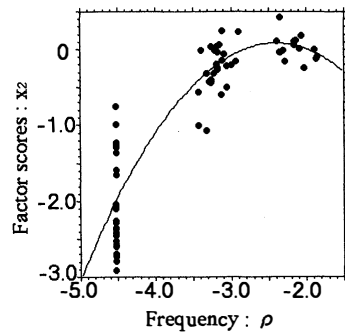


図8：頻度と第2因子得点の関係

6 む す び

1. 全国規模の約3万人の名簿から日本人の姓の出現頻度を調査した。その結果、5778の姓が得られた。これは日本の全戸数の90%以上を網羅するものと考えられる。姓のベストテンも、過去のさらに大規模な調査とほぼ同一で、データベースとして妥当なものと考えられる。
2. 出現頻度が大、中、小の姓のクラスタから選んだ78の姓と、被験者が所属する学科の教官5名の姓および被験者自身の姓の計84の姓について、20名の学生に親近度の5段階評価を行なわせた。その結果、頻度の対数と親近度の被験者の平均値の間には正の相関関係が見られた。
3. 親近度の被験者間相互相関係数行列を因子分析した結果、2因子が得られた。因子軸上での姓の分布から、これらは身辺性の因子と意味性の因子と解釈された。
4. 姓の出現頻度の対数とこれらの因子の因子得点との間には、それぞれ2次の多項式で近似される関係が見られた。

今後は、姓の出現頻度および親近度の因子と姓の認知率との関係を求め、認知の能動性に、これらの要因がどのように関与するかを求める研究を進めたい。

参 考 文 献

- [1] 情報処理学会編，“情報処理学会会員名簿”，
- [2] 北林行雄，黒田靖子，中山剛，“名前埋め込み文字列の聴覚認知実験”，平8北陸連大，B-30，1996。
- [3] 丹羽基二，“日本姓氏大辞典”，角川書店，1985。
- [4] A. L. コムリー，“因子分析入門”，サイエンス社，1979。

仮想空間内操作における力覚表現システムの検討

郭 立新, 北林 行雄, 黒田 靖子,
加藤 ジェーン, 川田 勉, 中山 剛

A Study to Representation System of Force Sensation with Object Manipulation in Virtual Space

Lishing Guo, Yukio Kitabayashi, Yasuko Kuroda,
Jien Kato, Tsutomu Kawata, Takeshi Nakayama

Methods of force sensation representation for the virtual object manipulation in virtual space produced by the ordinary computer device environment is investigated. It is considered that there are five main elements of giving the force sensation, when the object in virtual space is manipulated by the virtual hand. The 3-dimensional graphical virtual space in which the virtual hand raise an object where these five elements act independently. Twenty five subjects evaluated the gravity sensation accompanied by the operation. The validity analysis of the five force sensation elements is performed on the evaluated values. The validity and the reliability of each element is examined.

keyword : virtual space, object manipulation, force sensation elements, intermodality,
evaluation score, validity analysis

1. ま え が き

仮想空間において仮想手による仮想物体の操作は基本的な課題である。この操作は人工現実感を高めるために自然な、臨場感の高い物体操作における力覚提示の必要性が要求される。従来仮想環境において仮想物体操作の力覚を提示するためには力覚マニピュレーター (Manipulator), データグローブ (Data Glove) や力覚ディスプレイ (Force Display) などの特殊な力覚フィードバックデバイスと表示装置を用いて行うのが殆どである [1, 2, 3]。しかし現実の一般的なコンピュータで作り出す仮想世界ではこのような特殊装置を取り入れるのは困難であると考えられる。そこで、このような特殊な装置を備えない普通のコンピュータデバイス環境で構築された仮想空間において仮想物体の操作過程の力覚の表現法とその有効性の研究を試みた。

この問題は、実際に操作者に直接的に力覚を与えることなしに、視覚あるいは運動感覚など、経験的に力覚に常に随伴している感覚を与えることにより、疑似力覚を発生させようとするものであり、基本的には心理学の世界で古くから研究されてきた共感覚あるいは通様相性 [4] といわれる現象を利用するものである。特殊な力覚フィードバックデバイスを持たない一般のコンピュータデバイス環

境で、人間は視覚によるディスプレイ上の3次元仮想物体のグラフィックスの変動状況と、マウスによる仮想物体の操作時の運動感覚によって力覚を感じるであろうと想定している [5]。そこで我々は仮想空間において仮想手による仮想物体の持ち上げ操作に対して仮想物体の重量感覚に影響を与えると考え、物体のつり上げ移動速度、仮想手と物体間を繋いでいるバネの伸長率、物体表面の濃度、物体の大きさと形状の五つの異なった単独条件変化にともなう力感覚表現要素について、25名の被験者を対象に評価実験を行った。評価実験の評価値の平均と分散を手がかりにして、この五つの心理学的な力覚の表現要素の効果を検討した。

2 仮想空間の操作環境

2.1 仮想空間の3次元CG

本研究の疑似心理力覚表現の評価実験で提示する仮想空間は普通のコンピュータデバイス環境に限定されたので、評価実験の入力装置としてはマウス、表示装置は16メガカラーパレットの17インチカラーモニターである。

本仮想空間を実行させると、現実性を少しでも高めるためにカラーモニターの全画面に3次元コンピュータグラフィックス(CG)仮想空間が表示される。五つの異なった力感覚表現要素が単独に作用する評価対象の仮想空間は図1、図2、図3、図4と図5に示すように、共に仮想テーブルの上に三つの仮想物体があり、現実性を高めるために、仮想物体の上に仮想手による持ち上げ操作の円環を設定し、また普通は矢印のマウスポインタを開いた仮想手の形に設定した。バネの伸長率を力感覚表現要素とした図1の場合は、仮想バネの他、バネの上方に持ち上げ操作の円環と仮想物体とバネを繋げる円環を二つ設定した。

2.2 仮想手による仮想物体の操作

マウスポインタが仮想物体と繋がっている上方の円環(仮想バネが繋がっている場合は仮想バネの上の円環)の領域に入ってマウスの左ボタンをドラッグすると、マウスポインタ仮想手は開いた状態からこの円環を握ったような図6に示す仮想手の形に変わって、仮想テーブルの上でドラッグされた物体をつり上げる。ドラッグを解除されると物体が自然にテーブルの面上に落下する、すなわち擬似的に手が物体を持ち上げる操作の仮想空間を提示するように設定してある。

2.3 力覚表現要素の設定

1. バネの伸長率：仮想物体上に繋がっている仮想バネの伸長率により物体の重量を感じさせる。仮想手がバネの上の円環を握ったら、左ボタンを押し、上にドラッグして移動すると、バネが伸長していく。バネの伸長率の力が仮想物体の仮想重量に到達すると仮想バネと繋がっている仮想物体が移動しはじめる。すなわち、この物体はバネや円環と一緒に仮想手に握られて持ち上げられる。また同一の仮想バネを用いて仮想空間の三つの異なる重量を持つ仮想物体の持ち上げ操作を行うため、仮想空間内にバネは一つしか設定しなかったが、仮想手でこのバネを握って左右移動することができる。移動先物体の領域でドラッグを解除するとバネがこの物体と連結される。この状態で持ち上げ操作ができるようになる。この三つの物体の持ち上げ操作に対して、それぞれの繋がったバネが基準値と同じ、基準値の2倍、4倍の異なる伸長率を示すので、この伸長率が重量を表現する要素となっている。
2. 物体の移動速度：物体の相対移動速度により重量を感じさせる。物体上の円環を握って、持ち上げ操作をする仮想手と物体のつり上げ移動速度はマウスポインタの移動速度に比較して、同

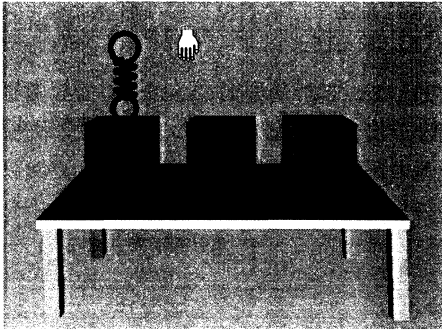


図1：バネの伸長率による力覚評価仮想空間

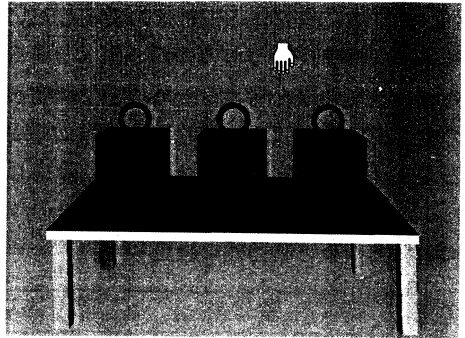


図2：上昇速度による力覚評価仮想空間

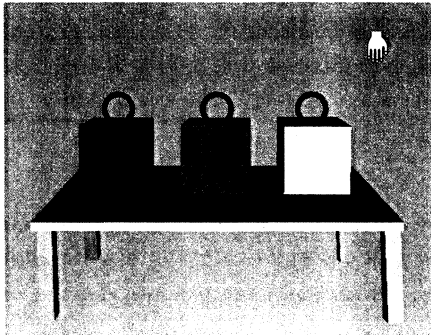


図3：表面濃度による力覚評価仮想空間

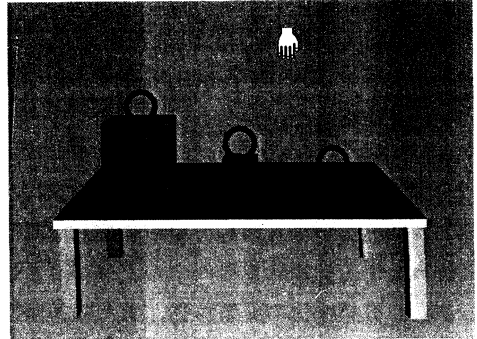


図4：大きさによる力覚評価仮想空間

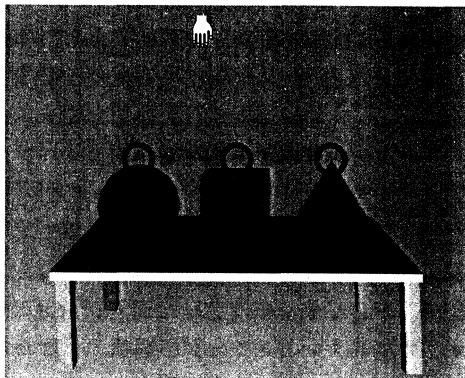


図5：形状による力覚評価仮想空間

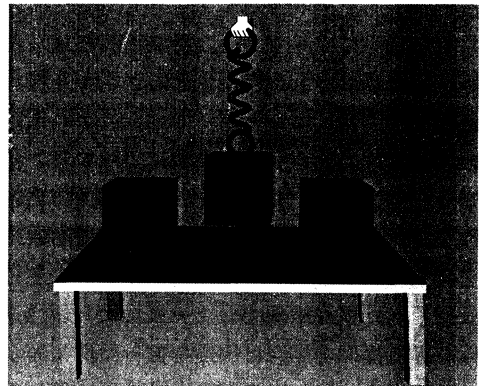


図6：仮想手による仮想物体の持ち上げ操作

- じ、半分、または二倍という異なった上昇速度を設定している。
3. 仮想物体の表面濃度、大きさと形状：これを力覚表現要素としている場合、仮想物体の操作法は上の物体の上昇移動の操作法と同様であるが、操作される三つの物体の操作速度はマウスポインタの上昇移動速度に相対的に同一に設定してある。表面濃度の場合は図3に示すように三つの物体の表面が完全黒を1として、左からは黒（完全黒の90%）、中間（完全黒の50%）とほぼ白（完全黒の10%）の表面濃度に設定してある。大きさの場合は図4に示すように三つの物体の体積が右の小さい立方体を1として、左からは64, 8, 1の大きさ、すなわち、一辺の長さが4倍、2倍に設定してある。形状の場合は図5に示すように三つの物体が左から同じ体積

の球体、立方体と円錐体に設定した。

力覚の表現効果を高めるため、表面濃度と形状要素を除いて、各評価要素ごとに三つの評価サンプルの物理量の相対値を対数的に等間隔にとった。表面濃度の場合は表現の困難な表面濃度の両極端の0と1を除いて濃度を0.1、0.5と0.9に設定した。形状要素の場合は同一体積で形状が著しく異なるものとした。全体として各評価要素の三つの評価サンプルの相対値、相対形状は物体間の重量差を最大限に表現することを目標に設定した。

3 仮想空間の構築

3.1 構築環境

本研究では Windows NT/95 の環境上で、Visual C++ を基本的な開発ツールとして、3次元グラフィックスライブラリ OpenGL を取り入れ [6]、上記の五つの異なった力覚表現要素を取り入れた仮想空間を構築した。

3.2 仮想空間の設計

仮想空間の表現は五つの仮想空間ごとに五つのモジュールのほか、仮想テーブルと仮想手のモジュール、マウスで仮想物体を操作するイベントとして、マウス左ボタンのドラッグ、ドラッグの解除とドラッグした仮想物体の上下移動、または各仮想空間の描画と仮想物体の表示などのモジュールで構成した。効果的に仮想空間を構築するために、標準の OpenGL グラフィックス関数ライブラリを用いて、数学の公式や複雑なソースコード攻めに会うことなく3次元物体を作成することができた。さらに、Visual C++ の強力なプログラミングインターフェイスのおかげで、仮想物体はプログラムに記述したルールによって動く。各ルールには、どの入力イベントに反応するか、その結果としての振る舞い、出力イベントを発生させるか否かを指定する。

各仮想空間はメニューバーの選択により指定され、描画モジュールで選択された仮想空間モジュールの設定通りに仮想空間を画面に表示する。各イベントモジュールは仮想物体を操作するイベントを検知し、仮想空間モジュールが仮想物体の表示位置をプログラムに記述したルールに従って変動させ、操作された仮想物体の画面上の表示位置を新たに設定して、この変動状況を描画モジュールで素早く再描画することにより、仮想物体が動的に変動している状況が表示される。

仮想手も同様に描画モジュールにより仮想空間内に仮想手モジュールを設定した通りに表示され、物体を握る操作の場合は円環を握った形に表示され、マウス左ボタンのドラッグを解除、すなわち物体の開放操作イベントを起動させると、仮想手が開いた形に戻る。バネを握る操作については、仮想手がバネを握った形になり、バネと上下の円環を左右に移動させ、移動先の仮想物体上で開放操作をするとバネと上下の円環がこの物体と連結されて、仮想手がまた開いた状態に戻る。仮想手が仮想物体を持ち上げた場合は仮想手の位置が物体と連動しているように設定され、再描画される。

仮想物体の持ち上げ操作イベントの発生はマウス左ボタンのドラッグとそのドラッグした位置によって指定される。例えば、マウスポインタが物体の上の円環の設定された領域内でマウス左ボタンをドラッグすると、仮想手が円環を握るイベント発生させ、さらに上下へドラッグして行くと、仮想手が仮想物体と連結して、仮想手により仮想物体の持ち上げと持ち下げイベントが起こる。マウス左ボタンのドラッグを解除すると仮想物体が仮想テーブルの面上に落下するイベントを発生する。仮想物体の持ち下げは仮想テーブルの面上の位置になると持ち下げイベントを停止させ、仮想物体がテーブルの面上に停止する。仮想手が握っている仮想物体の持ち上げイベントを発生した場合、他の仮想物体

は持ち上げられないように設定してある。

各仮想空間内の各物体の力覚表現要素値が各仮想空間のモジュールで指定される。仮想バネの伸長率と上昇速度の場合は持ち上げイベントが発生すると、各物体が指定した異なった力覚表現要素値のとおり変動状況のイベントが提示される。この異なった変動状況により、被験者が各物体の重量の力覚を感じる。

表1：力覚評価尺度

評点	カテゴリー
5	非常に重さを感じる
4	重さを感じる
3	やや重さを感じる
2	微かに重さを感じる
1	全く重さを感じない

表2：力覚評価サンプルと評価データの平均値と分散

番号	力覚評価サンプル	相対量	平均	分散
1	バネの伸長率大	伸長率4	4.44	0.340
2	バネの伸長率中	伸長率2	3.38	0.318
3	バネの伸長率小	伸長率1	2.28	0.377
4	物体の上昇速度小	速度1	4.32	0.643
5	物体の上昇速度中	速度2	2.80	0.583
6	物体の上昇速度大	速度4	1.68	0.560
7	物体の表面濃度大	濃度0.9	2.92	0.827
8	物体の表面濃度中	濃度0.5	2.52	0.593
9	物体の表面濃度小	濃度0.1	2.02	0.635
10	物体の体積大	体積64	3.16	0.890
11	物体の体積中	体積8	2.32	0.643
12	物体の体積小	体積1	1.56	0.423
13	物体の形状が球体	体積1	2.92	0.993
14	物体の形状が立方体	体積1	2.52	0.510
15	物体の形状が円錐体	体積1	2.80	1.250

4 力覚評価実験

以上に述べたような重量を表現する五つの単一要素変化条件で、25名の被験者を対象として評価実験を行った。評価実験はアンケートの形式で行った。被験者が各力覚表現要素を単独作用する五つの仮想空間内の三つの仮想物体に対して、マウスを用いて向上持ち上げ

操作をして、合計15個の評価サンプルに対して表1に示す5段階の重量感覚評価尺度に当てはまる評点を付ける。すなわち、被験者は各重量表現要素の仮想空間内の個々の物体の重量感覚についての絶対評価をする。15個の力覚評価サンプルの重量要素の相対量と25名の被験者の評価データの平均と分散を表2に示す。画像内物体の提示の左右の順序は個人ごとにランダムとした。

5 力覚表現要素の有効性分析

5.1 分析の手がかり

上に記述したように、評価実験は五つの重量感覚要素が単独に作用する仮想空間内で操作される3個の物体を対象とするため、有効性分析もそれに従って、各重量感覚要素ごとに3個の評価サンプルに対しての評価データの平均と分散を重視して行った。表2の評価サンプルと同様な番号を用いて、五つの仮想空間の被験者の評価データの平均値とそれぞれの物理量の相対値の折れ線図を図7, 8, 9, 10と11に示す。

五つの仮想空間内の3個の評価サンプルの評価平均値の分布幅の大きさは25名の被験者の各仮想空間内の3個の仮想物体に対しての重量感覚差である。例えば、バネの伸長率の仮想空間の場合、評価サンプル1番に対して被験者は4.44の高い平均評価値を与えたので、25名の被験者が平均してこの

評価サンプルに対して大きな重さを感じたと言える。逆に評価サンプル3番に対しては2.28の低い平均評価値が得られたので、被験者がこの評価サンプルに対してあまり重さを感じなかったと言える。従って、五つの仮想空間内の3個の評価サンプルの評価平均値の最大分布幅の大きさは仮想物体の持ち上げ操作の力覚の評価の手がかりであると考えられる。

また、評価値の分散は被験者の評価サンプルに対しての力覚の一致度である、これは力覚表現要素の信頼性を反映する。

この五つの仮想空間内の3個の評価サンプルの評価平均値の最大分布幅と評価値の分散が力覚表現要素の有効性分析の手がかりになることから、バネの伸長率 (Spring), 物体のつり上げ移動速度 (Speed), 物体の表面濃度 (Density), 物体の大きさ (Volume) と形状 (Shape) の五つの仮想空間内の3個の評価サンプルの評価平均値の最大分布幅と3個ごとの評価分散値の平均を図12に示す。

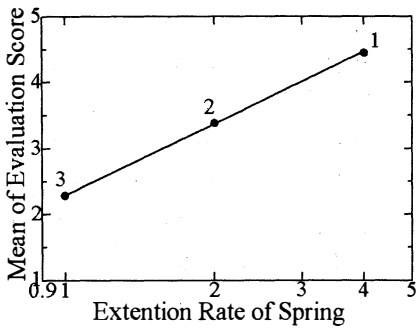


図7：バネの相対伸長率と評価平均値の関係

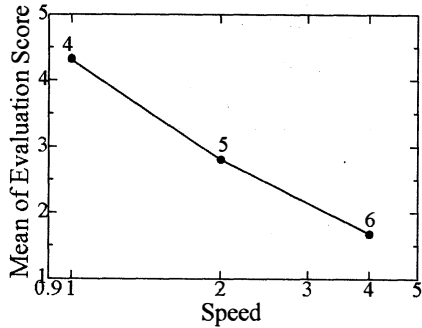


図8：仮想物体の上昇速度と評価平均値の関係

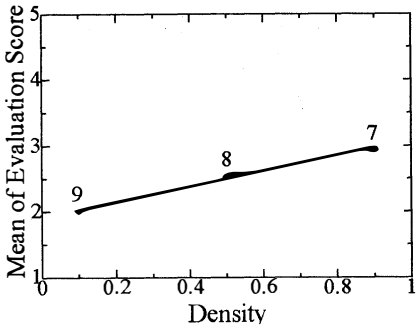


図9：仮想物体の表面濃度と評価平均値の関係

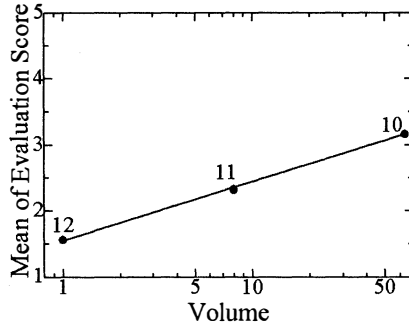


図10：仮想物体の体積比と評価平均値の関係

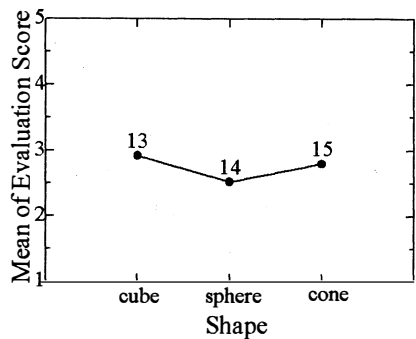


図11：仮想物体の形状と評価平均値の関係

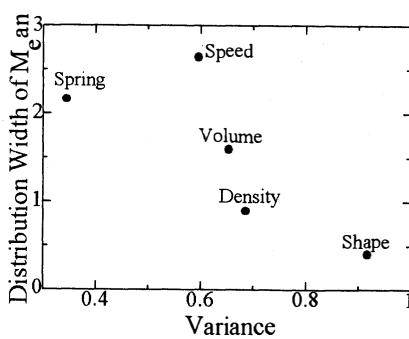


図12：仮想空間ごとの評価平均値の最大分布幅と仮想空間3個ごとの評価データ分散の平均値

5.2 評価結果の分析

バネの伸長率が力覚表現要素とした評価サンプル1, 2と3番の評価平均値分布は図7に示したように、線形的で大きい分布幅を示している。また、図12に見るように、バネの伸長率の仮想空間(Spring)内の3個の評価サンプルの評価データの分散は平均して0.345と五つの要素の中で一番小さい値を示している。これは被験者がバネの伸長率の力覚表現要素に対して、一致した感覚的判断をしたことを表わすものと考えられる。すなわち、被験者は平均評価値が大きいバネの相対伸長率4の評価サンプル1番の仮想物体に対して一致して、大きい重みを感じ、逆に平均評価値が小さいバネの相対伸長率1の評価サンプル3番の仮想物体に対して一致して、小さい重みを感じたと言える。これらのことから、物体と繋がっているバネの伸長率を力覚の表現要素とする場合はその力覚表現の有効性と信頼性が高いと分析される。

物体の上昇速度による評価サンプル4, 5と6番の評価平均値分布は図8に示したように、目立つ大きい分布幅を示している。すなわち、相対上昇速度1の評価サンプル4番の仮想物体に対しては、平均評価値が大きく、逆に相対上昇速度4の評価サンプル6番の仮想物体に対しては、平均評価値が小さい。また図12に示したように、表現要素が上昇速度(Speed)の3個の評価サンプルの評価データの分散は平均して0.595の比較的小さい値を示しており、被験者の物体の上昇移動速度による、物体の重さの力覚はほぼ一致していると言える。図8と図12の結果から物体の相対移動速度も力覚表現要素として有効性と信頼性が高いと言える。

物体の表面濃度と体積による評価サンプル7, 8, 9と10, 11, 12番の評価平均値分布は図9と図10に示したように、物体表面濃度大と物体体積大の場合の平均評価値が大きい、逆に表面濃度小と体積小の平均評価値が小さくなる順序で評価サンプルの平均評価値が分布しているが、評価平均値の分布幅はあまり大きくない。また物体の表面濃度(Density)と体積(Volume)の仮想空間内のそれぞれの3個の評価サンプルに対して、図12に示したように、評価データの分散値は平均して0.685と0.652で、やや大きい値を示している。従って、物体の表面濃度と体積による力覚の評価は被験者でばらつきが大きく、力覚の感覚要素にとって、その有効性と信頼性がやや低いと考える。

物体形状の評価サンプル13, 14と15番の評価平均値分布は図11に示したように、この三つの評価サンプルの評価平均値は共に2.52から2.92までであり差がなく、13と14番の評価平均値の差はその最大分布幅で、わずかに0.4である。図12に示したように、物体形状(Shape)の3個のサンプルの評価データの分散値は平均して、0.9以上の大きな値をとっている。すなわち、この物体の形状要素を用いた、仮想物体の力覚表現は非常に曖昧で、個人的なばらつきが大きいことを意味している。従って、物体の形状は力覚の表現要素として、有効性と信頼性がほとんどないと考える。

5.3 結果分析のまとめ

以上の分析により、バネの伸長率と仮想物体の持ち上げ速度のような動的な要素が力覚表現するには効果的で、その有効性と信頼性が高いと言える。

物体の表面濃度と大きさのような静的な視覚の要素は心理的な長期記憶に強く依存する。言わば見た目の第一印象に強く影響されるこの両力覚表現要素は力覚表現には、有効性と信頼性がやや低いと考える。

最後は三つの同体積で、異なった形状を持つ仮想物体に対して、被験者がほぼ同様な平均評価値を与えたこと、またその三つの評価サンプルの評価値の分散が大きいことから、この力覚表現要素の有効性と信頼性は共に低いと言える。

6 おわりに

普通のコンピュータデバイス環境を用いて構築された仮想空間内での仮想物体の操作における力覚を表現すると仮定された五つの単独に作用する要素について、25名の被験者を対象に仮想物体の重量感覚の評価テストを行わせた。評価テストの結果について有効性と信頼性分析を行い、その分析した結果として、仮想手で操作された仮想物体の移動速度要素と仮想手で仮想物体と繋がっている仮想バネで物体を釣り上げる操作の際の仮想バネの伸長率の要素が力覚を表現するのに効果であることが分かった。操作される仮想物体の大きさ要素と表面濃度要素については評価平均値が相対的小さく、やや大きい分散を示すことで、この両要素は力覚の表現にとって有効性がやや低いと云える。最後に物体の形状要素に対しては被験者の評価値が非常に大ききなばらつきを示しているほか、仮想空間中の3個の評価サンプルの平均評価値の分布幅も非常に小さかった。従って、仮想物体の形状による力覚の効果が一番低いと考えられ、この要素について重量力覚の判断をするのは困難である。

以上のまとめで、仮想空間内での仮想物体の操作における力覚表現の効果は視覚との共感覚だけでなく、操作に伴う運動感覚が異なる場合に力覚を感じ易いことが分かった。例えば、仮想物体の上昇速度とバネの伸長率の要素は力覚を表現するのに効果的である。逆に、ただ視覚的な差異があっても、操作による感覚が同じであれば、力覚の表現効果が低いといえる。仮想物体の表面濃度、大きさと形状要素がこれに入る。

研究では主に力覚表現要素を単独に変化させる場合について仮想空間内での仮想物体の操作に伴う力覚表現法と操作された仮想物体の重量感覚の評価テストの結果により、その力覚表現の有効性と信頼性の研究を行った。今後の課題として、評価結果の因子分析を行い、力覚表現要素の独立性と関連性、および複数の要素が複合的に作用する場合の力覚の表現法およびその有効性について研究を進める必要がある。

参考文献

- [1] 岩田洋, “力感覚に対応した人工現実感—仮想空間の構築”, 第5回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.1-4, 計測自動制御学会, 1989.
- [2] 広田光一, 広瀬通孝, “仮想触覚環境の開発”, ヒューマン・インタフェース研究論文集, pp.41-48, 計測自動制御学会, 1993.
- [3] 北村喜文, 野間春生, 宮里勉, 岸野文郎, “視覚と力覚のフィードバックを利用した仮想物体操作補助”, 信学論(D-II), Vol.J80, No.1, pp.256-266, January 1997.
- [4] 桜林仁, “心理学事典”, p.137, 平凡社, 1957.
- [5] Hesel, S.K. and Roth, J.P, “Virtual Reality : Theory, Practice and Promise”, Meckler Publication, 1991.
- [6] Clayton Walnum, 松田晃一(訳), “3-D Graphics Programming with OpenGL”, pp.4-10, 株式会社プレントリスホール出版, 1996.

ハイポイドギヤの歯切り段取りの厳密化

桐 昭弘, 米林 順也*, 稲谷 正志, 伊藤 紀男

Analysis of Strict Machine Setting of Hypoid Gear

Akihiro KIRI, Junya YONEBAYASHI*, Tadashi INATANI and Norio ITO

Gears have deeply affected the power transmission and the motion transmission of machine tools and transportation machines including a car industry. The gears have been an important machine element to this day. In particular, a bevel gear and a hypoid gear accomplish big development and contribute largely to the car industry in the world. However, the cutting of a hypoid gear has still a lot of knowhows. The reason is that the approximation equations are used to calculate the machine setting of gear cutting. Then, this paper targets the gear cutting method used a face mill cutter and describes the analytical method to set correctly on the gear cutting machine the third gear which is necessary to cut a pinion. Finally, we show a concrete calculation example.

Key Words : Gear, Hypoid Gear, Theoretical Study, Machine Setting, Third Gear, Cutter Tilt, Machine Center

1. 緒 言

我国の自動車産業を初めとして、工作機械や輸送機械などの動力伝達や運動伝達に深く関わってきた歯車は、現在においても重要な機械要素であることに変わりはない。中でも、かさ歯車やハイポイドギヤは、米国の工作機械メーカーであるグリーンソン社の100年以上にも及ぶ研究開発によって、大きな発展を遂げ、今では、同社の歯切り盤は全世界に行き渡り、各国の自動車用歯車などの生産に大きく貢献している。

グリーンソン社の歯切りに関する理論や加工技術は、同社の研究者や技術者によって築き上げられたものであるが、同時に同社の徹底した技術情報管理によって、その詳細はベールに包まれたままである。同社は歯切りに関する数多くの解説書をユーザに公表しているが、その内容を理解するためには、それ相当の理論的な知識を必要としている。より合理的な歯切り法の研究⁽¹⁾は、同社によって今日もなお進められているが、同社の歯切り法には、依然として現場技術者の経験と勘に頼る部分が多く残されている。その最大の理由は、厳密な理論解析の難しさのために歯切りが近似的なものになっているからだと考えられる。

そこで、本研究は、同社の歯切り法において、近似的な取り扱いのために理論的な厳密性に欠け、

*現:富士重工業(株)

試行錯誤を必要とする段取り計算法を、より厳密な理論に基づいた解析を行い、優れた歯車を得るための段取り計算法について検討を加えたものである。

2. 座 標 系

ハイポイドギヤ歯面の創成は、歯すじと歯形を考慮した創成法が主流をなし、現在においても、この方法に優るものは考えられていない。理論的には、ヘリカルセグメント⁽²⁾の概念を取り入れた歯切り法も考えられるが、これを実際に実用化しようとする、歯切り盤にとって最も重要な剛性を悪化させる恐れが生じる。したがって、第三の歯車である相当冠歯車による歯切り方式⁽³⁾が有力なものとなっている。この方法では、第三の歯車を歯切り盤上に正しく構成する必要がある。その構成の内容は、主としてカッタのセッティングによって決まる。ここでは、相当冠歯車方式によって、ハイポイドギヤを歯切りする場合のマシンセッティング、すなわち歯切りに必要なカッタとハイポイドギヤの位置関係や関係運動について解析する。

2.1 運動学的座標系 P-XYZ

第三の歯車の1つの歯面はカッタ切刃の運動によって構成され、その歯面はピニオン歯面と共役なものでなければならない。図1は、解析に使用するP-XYZ座標系を示したものである。まず、第三の歯車とそれに共役なピニオンのピッチ円錐を考える。これら2つのピッチ円錐面の接点をピッチ点Pとし、点Pを通る両ピッチ円錐面の共通接平面をピッチ平面とする。図1(a)は2つのピッチ円錐を、図1(b)はピッチ平面を、図1(c)はその立面図を示す。点 O_1' 、 O_2' はそれぞれピニオンと第三の歯車のピッチ円錐の頂点であり、 ϕ_p 、 ϕ_x はそれぞれピニオンと第三の歯車の点Pにおけるねじれ角である。ここで、ピッチ面と点Pを通るギヤ歯面の交線を考える。この交線の点Pにおける接線をZ軸とし、Z軸のP点における垂線を、ピッチ平面上にあるものをX軸、それらに垂直にY軸をとる。ピッチ平面はZX平面として表される。以上により、ピッチ点Pを原点とした直交座標系P-XYZが得られる。

図2は座標系P-XYZを第三の歯車の歯面上で示した図である。第三の歯車の圧力角を ϕ とすると、点Pでの歯面法線の単位ベクトル n がX軸となす角は ϕ となり、 n は次のようになる。

$$n = [-\cos \phi \quad -\sin \phi \quad 0] \dots\dots\dots (1)$$

次に、第三の歯車のピッチ円錐三要素⁽³⁾を (A_p, Γ_p, ϕ_x) とすると、第三の歯車軸の単位ベクトル a_x は、次のようになる。

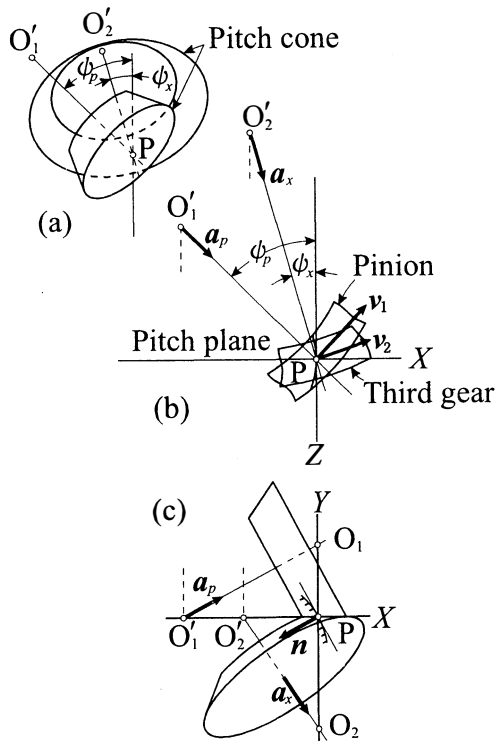


図1 運動学的座標系 P-XYZ

$$\mathbf{a}_x = [\cos \Gamma_x \sin \phi_x \quad -\sin \Gamma_x \cos \Gamma_x \cos \phi_x] \dots\dots\dots (2)$$

同様に、第三の歯車に共役なピニオンのピッチ円錐三要素を (A_p, γ_p, ϕ_p) とすると、ピニオン軸の単位ベクトル \mathbf{a}_p は、次のようになる。

$$\mathbf{a}_p = [\cos \gamma_p \sin \phi_p \quad \sin \gamma_p \cos \gamma_p \cos \phi_p] \dots\dots\dots (3)$$

第三の歯車軸 \mathbf{a}_x とピニオン軸 \mathbf{a}_p の共通垂線（オフセット）のベクトル \mathbf{e}'_x は、次のように表される。

$$\mathbf{e}'_x = \mathbf{a}_x \times \mathbf{a}_p \dots\dots\dots (4)$$

\mathbf{e}'_x の単位ベクトル \mathbf{e}_x は、 $\mathbf{e}'_x / |\mathbf{e}'_x|$ であり、 \mathbf{a}_x と \mathbf{a}_p がなす角（創成軸角）を Σ_x とすると、次のようになる。

$$\mathbf{e}_x = \mathbf{a}_x \times \mathbf{a}_p / \sin \Sigma_x \dots\dots\dots (5)$$

次に、 \mathbf{a}_x と \mathbf{a}_p の内積により、次式が得られる。

$$\mathbf{a}_x \cdot \mathbf{a}_p = \cos \Sigma_x \dots\dots\dots (6)$$

また、 \mathbf{a}_x と \mathbf{a}_p の内積にそれぞれの成分、式 (2)、(3) を用い、 $\epsilon'_x = \phi_p - \phi_x$ とすると、次のようになる。

$$\mathbf{a}_x \cdot \mathbf{a}_p = -\sin \Gamma_x \sin \gamma_p + \cos \Gamma_x \cos \gamma_p \cos \epsilon'_x \dots\dots\dots (7)$$

式 (6)、(7) より、次式が求められる。

$$\cos \Sigma_x = -\sin \gamma_p \sin \Gamma_x + \cos \gamma_p \cos \Gamma_x \cos \epsilon'_x \dots\dots\dots (8)$$

また、式 (8) より、

$$\sin \Sigma_x = \sqrt{1 - (-\tan \gamma_p \tan \Gamma_x + \cos \epsilon'_x)^2 \cos^2 \gamma_p \cos^2 \Gamma_x} \dots\dots\dots (9)$$

となる。

2.2 段取り座標系 $O_M - x_M y_M z_M$

ピニオンは第三の歯車によって創成歯切りされる。第三の歯車に共役なピニオン歯面を得るためには、ピニオンカッタは、歯切り盤上で正確な位置に設置されなければならない。そこでまず、第三の歯車の段取りに必要な基準座標系を定める。図3は、段取りに使用する $O_M - x_M y_M z_M$ 座標系を示したものである。図3(a)はマシン平面図、図3(b)はその立面図である。一般に、ピニオン創成用歯切り盤には、冠歯車を回転させるクレードル軸がある。これを第三の歯車軸として使用する。ピニオン軸は、クレードル軸と軸角 Σ_x をなし、両軸の共通垂線に沿ってオフセット E_x の位置に設置される。したがって、共通垂線とクレードル軸の交点は定点となり、それをマシン中心 O_M として表す。また、共通垂線とピニオン軸の交点も定点となり、それを点 O'_M で表す。点 O_M を通りクレードル軸に垂直な平面をマシン平面とすれば、この平面が段取り上の基準平面となる。点 O_M を原点として、クレー

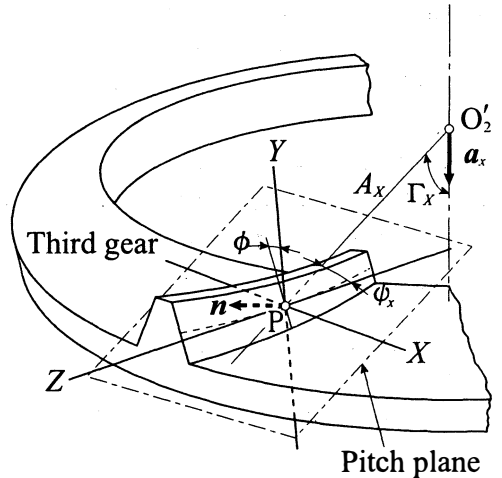


図2 第三の歯車と運動学的座標系

ドル軸方向に y_M 軸, 共通垂線方向 (オフセット方向) に x_M 軸, それらに垂直に z_M 軸をとると, 段取り直交座標系 $O_M-x_M y_M z_M$ が得られる。ピニオン軸は $y_M z_M$ 平面に平行に取り付けられる。

図4は $O_M-x_M y_M z_M$ 座標系とピニオン軸の関係を示したものである。 x_M 軸の単位ベクトルは e_x であり, これを次のように成分表示することにする。

$$e_x = [e_{x1} \ e_{x2} \ e_{x3}] \dots\dots\dots (10)$$

式 (5) より, 次式が得られる。

$$e_x = [\cos \Gamma_x \sin \phi_x \quad -\sin \Gamma_x \cos \Gamma_x \cos \phi_x] \\ \times [\cos \gamma_P \sin \phi_P \quad \sin \gamma_P \cos \gamma_P \cos \phi_P] / \sin \Sigma_x$$

P-XYZ座標系の X, Y, Z 各軸の単位ベクトルをそれぞれ i, j, k とすると, 上式は

$$e_x = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \cos \Gamma_x \sin \phi_P & -\sin \Gamma_x \cos \Gamma_x \cos \phi_x & \\ \cos \gamma_P \sin \phi_P & \sin \gamma_P \cos \gamma_P \cos \phi_P & \end{vmatrix} / \sin \Sigma_x \dots\dots\dots (11)$$

となり, 式 (11) の成分はそれぞれ次のようになる。

$$e_{x1} = -(\cos \gamma_P \cos \Gamma_x / \sin \Sigma_x) (\tan \gamma_P \cos \phi_x + \tan \Gamma_x \cos \phi_P) \dots\dots\dots (12)$$

$$e_{x2} = (\cos \gamma_P \cos \Gamma_x / \sin \Sigma_x) \sin \epsilon'_x \dots\dots\dots (13)$$

$$e_{x3} = (\cos \gamma_P \cos \Gamma_x / \sin \Sigma_x) (\tan \gamma_P \sin \phi_x + \tan \Gamma_x \sin \phi_P) \dots\dots\dots (14)$$

次に, y_M 軸の単位ベクトルは a_x であるが, $O_M-x_M y_M z_M$ 座標系上では, これを e_y とし, 次のように成分表示することにする。

$$e_y = [e_{y1} \ e_{y2} \ e_{y3}] \dots\dots\dots (15)$$

$$e_{y1} = \cos \Gamma_x \sin \phi_x \dots\dots\dots (16)$$

$$e_{y2} = -\sin \Gamma_x \dots\dots\dots (17)$$

$$e_{y3} = \cos \Gamma_x \cos \phi_x \dots\dots\dots (18)$$

次に, z_M 軸の単位ベクトルを e_z とし, 次のように成分表示する。

$$e_z = [e_{z1} \ e_{z2} \ e_{z3}] \dots\dots\dots (19)$$

座標系 $O_M-x_M y_M z_M$ は右手系だから,

$$e_z = e_x \times e_y$$

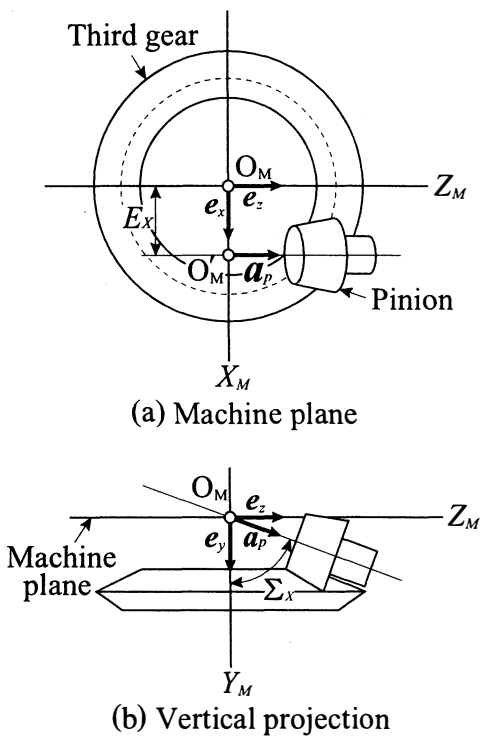


図3 段取り座標系とマシン平面

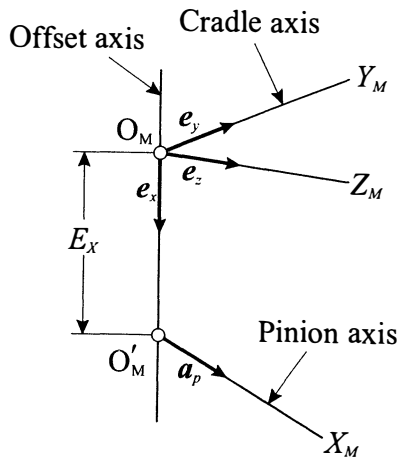


図4 $O_M-x_M y_M z_M$ 座標系とピニオン軸

となり、式(10)、(15)~(20)を代入すると、

$$e_z = \begin{vmatrix} i & j & k \\ e_{x1} & e_{x2} & e_{x3} \\ \cos \Gamma_x \sin \phi_x & -\sin \Gamma_x & \cos \Gamma_x \cos \phi_x \end{vmatrix} \dots\dots\dots (20)$$

となる。式(19)の成分はそれぞれ次のようになる。

$$e_{z1} = e_{x2} \cos \Gamma_x \cos \phi_x + e_{x3} \sin \Gamma_x \dots\dots\dots (21)$$

$$e_{z2} = e_{x3} \cos \Gamma_x \sin \phi_x - e_{x1} \cos \Gamma_x \cos \phi_x \dots\dots\dots (22)$$

$$e_{z3} = -(e_{x1} \sin \Gamma_x + e_{x2} \cos \Gamma_x \sin \phi_x) \dots\dots\dots (23)$$

3. 第三の歯車

3.1 カッタ刃面

図5は、マシン平面に対するカッタ軸の位置と方向を示したものである。点 O_c はカッタ中心の位置であり、 $O_c O'_c$ は y_M 軸に平行である。点 O'_c を原点として、 $O_M - x_M y_M z_M$ 座標系と平行な $O'_c - x y z$ 座標系を考える。 $\Delta\phi$ はカッタ軸の単位ベクトル I が y 軸となす角であり、 ζ はカッタ軸 I の zx 平面への投影 $O'_c O''_c$ が z 軸となす角である。 $O_c O'_c$ の長さは $O_c O'_c \cos \Delta\phi$ となる。点 O_{cM} はカッタ中心 O_c の $x_M y_M$ 平面への投影点であり、 X_{SB} ($O_c O_{cM}$)はマシン平面に対するカッタ中心 O_c の距離を示すスライディングベース (Sliding base) である。 H, S, V, θ_x はマシン中心に対する点 O_{cM} の位置を示すものである。このときカッタ軸 I は、次のようになる。

$$I_{(M)} = [\sin \Delta\phi \sin \zeta \quad \cos \Delta\phi \quad \sin \Delta\phi \cos \zeta] \dots\dots\dots (24)$$

添字 (M) は、 $O_M - x_M y_M z_M$ 座標系上での表示であることを示す。

ピニオンを歯切りする第三の歯車のカッタ刃先は、ピニオンのルート (歯底) を通過する。ピニオンのアデンダム角 δ'_1 を歯すじ方向から眺めたときの角を δ_1 とすると、 δ_1 は δ'_1 を第三の歯車のピッチ円錐母線と Y 軸のなす平面に投影したものであり、ねじれ角 ϕ_x がであるから、 δ_1 と δ'_1 の関係は次のようになる。

$$\tan \delta_1 = \tan \delta'_1 \cos \phi_x \dots\dots\dots (25)$$

図6は、第三の歯車の歯面 (カッタ刃面) の主方向を示したものである。主方向の単位ベクトル t_c はピッチ点 P における歯面の接平面 (Tooth tangent plane) 上に

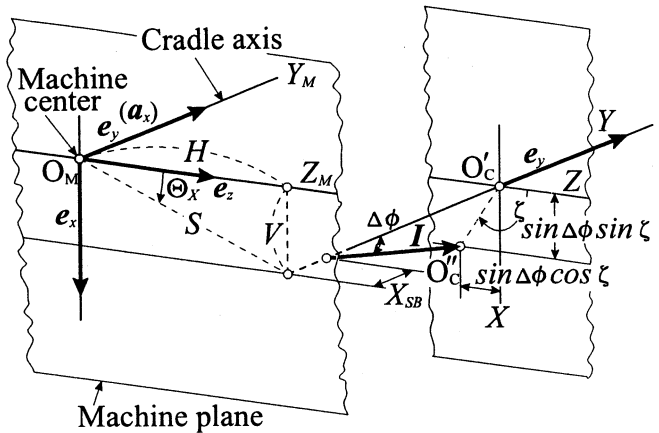


図5 マシン平面とカッタ軸

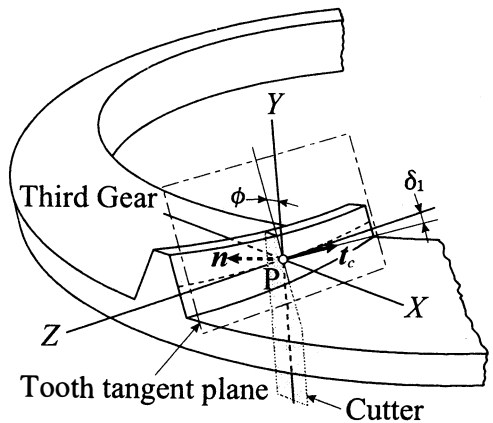


図6 カッタの主方向

あり、 t_c がZ軸となす角を δ_1 (< 0) とする。圧力角が ϕ であるから、 t_c は次のようになる。

$$t_c = [-\sin \delta_1 \sin \phi \quad \sin \delta_1 \cos \phi \quad -\cos \delta_1] \quad \dots\dots\dots (26)$$

次に、カッタの主方向と圧力角の関係について考察する。図7はその関係を示した図である。図7(a)は、図6と同様の関係を示し、図7(b)は、 δ_1 、 δ'_1 、 ϕ の関係を詳細に示した図である。 δ_1 をYZ平面に投影したものが δ'_1 であり、圧力角が ϕ であるから、 δ_1 と δ'_1 の関係は次のようになる。

$$\tan \delta'_1 = \tan \delta_1 \cos \phi \quad \dots\dots\dots (27)$$

式(25)、(27)より、次式が得られる。

$$\tan \delta_1 = \tan \delta'_1 \cos \phi_x / \cos \phi \quad \dots\dots\dots (28)$$

これで、第三の歯車の歯面の主方向 t_c は求められる。

次に、ピッチ点Pを通るカッタ円錐母線（第三の歯車の歯形）の単位ベクトル A_c は、

$$A_c = t_c \times n$$

であり、式(1)、(26)を代入すると、

$$A_c = \begin{vmatrix} i & j & k \\ -\sin \delta_1 \sin \phi & \sin \delta_1 \cos \phi & -\cos \delta_1 \\ -\cos \phi & -\sin \phi & 0 \end{vmatrix} \quad \dots\dots (29)$$

となる。これを成分表示すると、次のようになる。

$$A_c = [-\cos \delta_1 \sin \phi \quad \cos \delta_1 \cos \phi \quad \sin \delta_1] \quad \dots\dots\dots (30)$$

これで、ピッチP点を通るカッタ円錐母線 A_c は求められる。 A_c と n が求められたので、カッタ軸 I はこれら2つのベクトルと直角三角形を形成することを利用すれば求められる。そこで、 I を次のように成分表示することにする。

$$I = [I_1 \quad I_2 \quad I_3] \quad \dots\dots\dots (31)$$

ただし、 I_1 、 I_2 、 I_3 はP-XYZ座標系上での成分である。

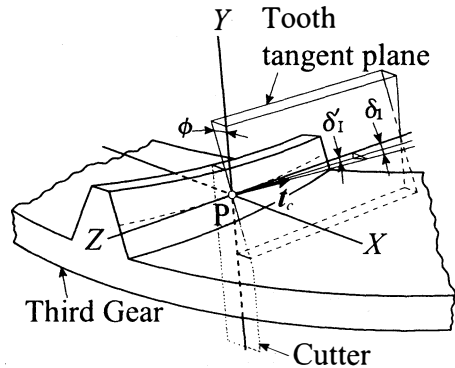
3.2 カッタ中心軸

カッタ軸 I 、カッタ円錐母線 A_c 、歯面法線 n は同一平面上にあり、それらは直角三角形を形成する。ブレード圧力角を ϕ_B とし、直角三角形の斜辺方向(I 方向)の大きさを1とすると、 n 方向の大きさは $\sin \phi_B$ 、 A_c 方向の大きさは $\cos \phi_B$ となり、ベクトル三角形より、 I 、 A_c 、 n の関係は、次のようになる。

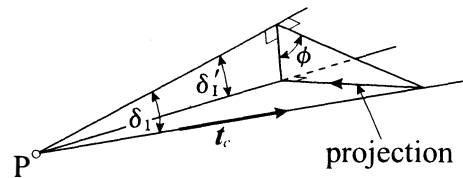
$$I - n \sin \phi_B + A_c \cos \phi_B = 0$$

式(1)、(30)を代入すると、

$$I = [-\cos \phi \quad -\sin \phi \quad 0] \sin \phi_B - [-\cos \delta_1 \sin \phi \quad \cos \delta_1 \cos \phi \quad \sin \delta_1] \cos \phi_B \quad \dots\dots (32)$$



(a) Principal direction of cutter



(b) Relation among δ_1 , δ'_1 , ϕ

図7 δ_1 、 δ'_1 、 ϕ の関係

となり、式 (31)の成分はそれぞれ次のようになる。

$$I_1 = -\sin \phi_B \cos \phi + \cos \delta_1 \cos \phi_B \sin \phi \quad \dots\dots\dots (33)$$

$$I_2 = -\sin \phi_B \sin \phi - \cos \delta_1 \cos \phi_B \cos \phi \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$I_3 = -\sin \delta_1 \cos \phi_B \quad \dots\dots\dots (35)$$

もし、主方向 t_c が Z 軸方向であれば、

$$\delta_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (36)$$

であり、このとき I は次のようになる。

$$I_{\delta_1=0} = [-\sin(\phi_B - \phi) \quad -\cos(\phi_B - \phi) \quad 0] \quad \dots\dots\dots (37)$$

3.3 カッタチルト角

P-XYZ 座標系上では、 x_M, y_M, z_M 各軸の単位ベクトルはそれぞれ e_x, e_y, e_z であり、カッタ軸の単位ベクトルは I である。同様に、 $O_M-x_M y_M z_M$ 座標系上では、同じ x_M, y_M, z_M 各軸の単位ベクトルは基本ベクトルとなり、カッタ軸の単位ベクトルは $I_{(M)}$ である。そこで、次式が得られる。

$$e_x \cdot I = \sin \Delta\phi \sin \zeta \quad \dots\dots\dots (38)$$

$$e_y \cdot I = \cos \Delta\phi \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$e_z \cdot I = \sin \Delta\phi \cos \zeta \quad \dots\dots\dots (40)$$

さらに、 $e_y = a_x$ より、式 (39) は次のようになる。

$$\Delta\phi = \cos^{-1}(a_x \cdot I) \quad \dots\dots\dots (41)$$

次に、式 (38), (40) より、次式が得られる。

$$\zeta = \tan^{-1} \left\{ (e_x \cdot I_1 + e_z \cdot I_2 + e_z \cdot I_3) / (e_x \cdot I_1 + e_x \cdot I_2 + e_x \cdot I_3) \right\} \quad \dots\dots\dots (42)$$

式 (24), (41), (42) より、マシン平面上のカッタ軸 $I_{(M)}$ の位置付けが可能となる。要するに、カッタをいかにして歯切り盤上に正しくセッティングできるかどうかということである。このことが座標軸変換によって、可能であることがわかった。

4. 具体的計算例

これまでの理論解析に基づき、具体例によって、第三の歯車の諸元を計算し、それらの値を用いて、カッタ精密段取り値を計算する。

計算に用いる基本諸元を表 1 に表す。これは自動車用ハイポイドギヤの例である。これら基本諸元をこれまでに得られている設計諸元計算プログラム⁽⁴⁾に入力する。それにより詳細設計諸元、修正設計諸元、第三の歯車のピッチ円錐三要素、歯切りピッチ円錐三要素、第三の歯車の歯面三要素が出力される。第三の歯車の諸元計算では、創成

表 1 基本諸元

Combination	n / N	8 / 35
Shaft Angle	Σ deg.	90.0
Gear Face Width	F mm	28.57
Gear Pitch Diameter	D mm	190.5
Cutter Diameter	$2r_c$ mm	190.5
Pinion Offset	E mm	23.180
Average Pressure Angle	ϕ_B deg.	21.25
Pinion Spiral Angle	ψ_1 deg.	50.0

軸角 Σ_x を $88^\circ \sim 90^\circ$ に変化させている。

計算で得られた ϕ , ϕ_B , ϕ_P , Γ_x , γ_P , δ_1 , ϕ_B などを用いてカッタの精密段取り値であるチルト角 $\Delta\phi$, マシン平面上でのカッタの方向を示す角度, カッタ軸の方向余弦 $I_{(M)}$ の計算結果を表2に表す。ここでも, ピニオンの歯切り結果に重要な影響を与える創成軸角 Σ_x を変化させている。

表2 カッタ精密段取り値

Shaft	Cutter	Drive	Coast
$\Sigma_x = 88^\circ$	$\Delta\phi$ deg.	19.628386	18.330569
	ζ deg.	0.644361	5.494115
	$I_{(M)}$ [Direction Cosine]	$\begin{bmatrix} 0.003778 \\ 0.941891 \\ 0.335897 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.030111 \\ 0.949258 \\ 0.313054 \end{bmatrix}$
$\Sigma_x = 89^\circ$	$\Delta\phi$ deg.	18.635242	17.322490
	ζ deg.	-0.953998	5.534481
	$I_{(M)}$ [Direction Cosine]	$\begin{bmatrix} -0.005320 \\ 0.947572 \\ 0.319498 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.028716 \\ 0.954644 \\ 0.296362 \end{bmatrix}$
$\Sigma_x = 90^\circ$	$\Delta\phi$ deg.	17.657396	16.311253
	ζ deg.	-2.623190	5.458355
	$I_{(M)}$ [Direction Cosine]	$\begin{bmatrix} -0.013882 \\ 0.952887 \\ 0.303007 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.026716 \\ 0.959750 \\ 0.279582 \end{bmatrix}$

5. 結 論

ハイポイドギヤの歯切り法は, 考察点における二次の点接触が保証されているだけで, 等速比運動を伝達するという保証はなされていない。そのため, 歯切り現場においては, 優れた歯当たりを得るために, 熟練技術者による試行錯誤歯切りが行われている。そこで, 本論文では, まずギヤを成形歯切りし, 歯切りされたギヤの歯面の両側面をそれぞれ独立した歯面として扱う。次に, それら歯面に共役なピニオン歯面を正確に創成歯切りするための方法について解析した。ピニオン歯面は, 第三の歯車によって創成歯切りされるため,

第三の歯車の精度, すなわちピニオンカッタの段取りの精度が, そのままピニオン歯切りの結果に影響を与える。以上のような考えに基づいて, ハイポイドギヤの精密段取りについて解析し, 次のような結論を得た。

- (1) ハイポイドギヤのピッチ平面とピニオン段取りの基準面であるマシン平面の間の関係を明らかにした。
- (2) 第三の歯車のピッチ円錐の三要素, および歯面の三要素を明らかにし, 段取りに必要なマシン平面上における見掛けの圧力角, ねじれ角を求めた。
- (3) ピニオン歯切りの精度を決めるピニオンカッタ軸の位置と方向を厳密解として求めるための計算法を確立した。

なお, 今後の課題としては, 今回得られた厳密解をグリーンソン方式によって求められる段取り計算値と比較, 検討を行うことである。

最後に, 本研究を進めるにあたり, いろいろとご指導を賜った元富山大学教授高橋幸一先生に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 例えば, Gleason Works, Flanle Modifications in Bevel Gears Using a Universal Motion Concept, (1995).
- (2) 高橋, 富山大学工学部紀要, 32, (1981), 33.
- (3) 高橋・伊藤, 機論, 49-43, C (1983), 1246.
- (4) 高橋・伊藤・崎田, 機論, 51-486, C (1985), 2083.
- (5) 桐・伊藤, 富山大学工学部紀要, 47, (1996), 67.

多気筒機関のバランスに関する研究 (1)

桐 昭弘, 服部 功, 伊藤 紀男

Balancing of Multi-Cylinder Engine (1)

Akihiro KIRI, Isao HATTORI and Norio ITO

Many of internal combustion engines used now are a reciprocating motion engine by a piston crank mechanism. The speed of the piston changes periodically in such engine. Therefore, inertia force produces in the moving parts of engine and it causes various vibrations of engine. Then in this paper, we treat the reciprocating engine as a rotary machine which makes the crankshaft a center axis and analyze the balance problem of multi-cylinder engine in dynamics of machine and we inquire into the possibility of the balancing of engine. That is, this paper describes the effect when the balance shafts are used for multi-cylinder engine in detail.

Key Words : Reciprocating Engine, Inertia Force, Multi-Cylinder Engine, Exciting Moment, Balance Shaft, Balance Weight

1. 緒 言

現用の内燃機関の主流は、ピストン・クランク機構による往復運動機関である。この種の容積型熱機関の原理は、1862年ドイツ人N.A.Otto氏によって発見されたが、その後、今日に至るまで機構的な原理は変わっていない。往復運動機関であるためピストン速度は周期的に変化し、加速度が生じるため、運動部分の慣性によって機関全体が影響を受け、各種の振動の要因となっている。

本論文は、このような往復運動機関によって構成される直列多気筒機関のバランス問題を機械力学的に解析し、バランスングの可能性について追及する。解析の方法は、まず、単気筒機関のピストン、接続棒、クランク軸の運動について機構学的な厳密解を求め、従来の展開式との関係を示す。多気筒機関は、運動学的には単気筒機関群に位相差をつけてクランク軸まわりに直列、V型、星型などに配列したものであるが、ここでは直列配置の多気筒機関のバランスングについて考察する。

2. 基礎理論

2.1 単気筒機関の運動

単気筒機関の解析に関しては、すでに多くの書物⁽¹⁾や文献⁽²⁾によって示されているが、ここでは本論文で使用する記号の説明も兼ねて簡単に述べる。

図1は、点Oを回転中心とするピストン・クランク機構のクランク軸直角断面図である。ピスト

ンピンの中心を O_p とし、その運動方向を X 軸、クランク軸を Z 軸とする右手系直交座標 $O-XYZ$ を定める。いま、 O_c 点をクランクピンの中心とすれば、 $\overline{O_c O_p}$ は接続棒を代表するので、その長さを l 、クランク半径 $\overline{O O_c}$ を r で表す。ピストンの変位を x 、 $\angle O_c O O_p$ を θ 、 $\angle O_c O_p O$ を δ とし、角度 θ 、 δ の符号は反時計回りを正とする。 δ は X 軸、すなわちシリンダ中心線に対する相対角度を表す。ここで、 $\lambda = r/l$ とし、クランクが正の方向に ω なる一定角速度で回転するものと考え、ピストンの加速度 \ddot{x} は、次のように表される。

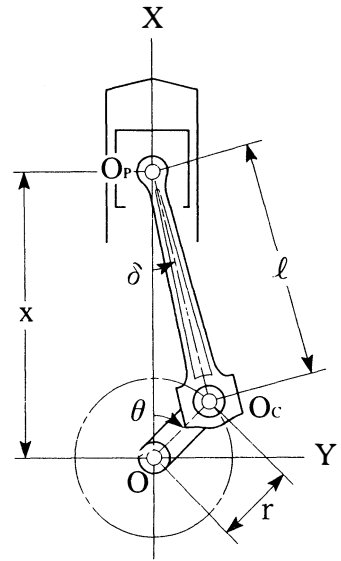


図1 ピストン・クランク機構

$$\ddot{x} = -r\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{\lambda \cos 2\theta}{\sqrt{1-\lambda^2 \sin^2 \theta}} + \frac{\lambda^3 \sin^2 2\theta}{4 (\sqrt{1-\lambda^2 \sin^2 \theta})^3} \right) \dots\dots\dots (1)$$

これを従来の展開式で表すと、次のようになる。

$$\ddot{x} = -r\omega^2 \left(\cos \theta + \sum_{n=1}^{\infty} 4n^2 A_{2n} \cos 2n\theta \right) \dots\dots\dots (2)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{4} \lambda + \frac{1}{16} \lambda^3 + \frac{15}{512} \lambda^5 + \dots\dots\dots \\ A_4 &= -\frac{1}{64} \lambda^3 - \frac{3}{256} \lambda^5 - \dots\dots\dots \\ A_6 &= \frac{1}{512} \lambda^5 + \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

λ の値は普通 $1/3 \sim 1/5$ であるから、 λ^3 以上の項を省略すれば、式 (2) は、次のようになる。

$$\ddot{x} = -r\omega^2 (\cos \theta + \lambda \cos 2\theta) \dots\dots\dots (4)$$

2.2 接続棒、クランクの慣性質量と等価系

ピストンとピストンピンの質量の和を m_p とすれば、その慣性力 F_p は次のようになる。

$$F_p = -m_p \ddot{x} \dots\dots\dots (5)$$

図2は、クランクの質量分布を示したものである。図2(a)は、クランクアームとクランクピンの質量 m_{ca} と重心 C_{ca} の位置を示している。クランクピンの質量を m_{cp} 、重心を G_{cp}

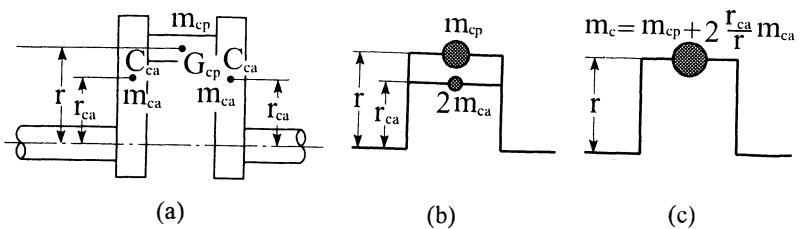


図2 クランクの質量分布

とする。重心 C_{ca} , G_{cp} のクランク軸中心からの距離をそれぞれ r_{ca} , r とする。このとき、クランクには、質量的にはクランクピンの重心に、次式のような質量 m_c の質点があると等価であると考えることができる。

$$m_c = m_{cp} + 2 m_{ca} \frac{r_{ca}}{r} \quad \dots\dots\dots (6)$$

このことを示したのが図2(c)である。クランクに働く遠心力は、図2(b)より、次のように求められる。

$$m_{cp} r \omega^2 + 2 m_{ca} r_{ca} \omega^2 = (m_{cp} + 2 m_{ca} \frac{r_{ca}}{r}) r \omega^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

よって、図2(c)の慣性力 F_c は、次のように表すことができる。

$$F_c = \omega^2 r (m_{cp} + 2 m_{ca} \frac{r_{ca}}{r}) = \omega^2 r m_c \quad \dots\dots\dots (8)$$

図3は、接続棒の静力学的等価系を示したものである。図3(a)の m_r , G はそれぞれ接続棒の質量及び重心で、 O_p, G を l_p , O_c, G を l_c と表す。接続棒の慣性力は、重心の x, y 変位と重心まわり δ 回転から導かれるが、簡略法として図3(b)のように、質量 m_r を静力学的に接続棒の両端(小端と大端の等価質量 m_{rp} と m_{rc}) に振り分けた等価系で x, y 方向の慣性力を考える。

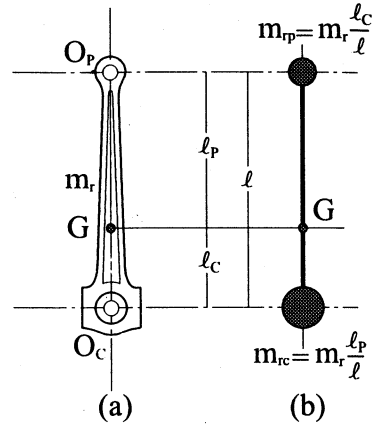


図3 接続棒の静力学的等価系

このとき、小端と大端の等価質量 m_{rp} と m_{rc} はそれぞれ m_p , m_c とともに動くから、接続棒の往復部質量を m_{rec} , 回転部質量を m_{rot} とすると、次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} m_{rec} &= m_p + m_{rp} \\ m_{rot} &= m_c + m_{rc} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ピストン・クランク機構の x, y 方向慣性力, F_x, F_y は、次のように得られる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -m_{rec} \ddot{x} + m_{rot} \omega^2 r \cos \theta \\ F_y &= m_{rot} \omega^2 r \sin \theta \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

重心 G を通り紙面に垂直な軸まわりの慣性モーメント I'_r は、次のようになる。

$$I'_r = m_{rp} l_p^2 + m_{rc} l_c^2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 I_r を等価系によらない重心 G に関する接続棒の慣性モーメントとし、 k をその回転半径とすると、次式を得る。

$$I_r = m_r k^2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

一般的には、 I'_r と I_r は、次のような関係にある。

$$I'_r > I_r \quad \dots\dots\dots (14)$$

したがって、修正慣性モーメントを I''_r とすると、次式のように求められる。

$$I''_r = I_r - I'_r \quad \dots\dots\dots (15)$$

次に、接続棒をその小端を支点とする振り子として振らせ、その周期を測定する。回転角を ϕ とすると、運動方程式は、次のようになる。

$$\left(I_r + m_r \ell_p^2 \right) \frac{d^2 \phi}{dt^2} = -m_r g \ell_p \sin \phi \quad \dots\dots\dots (16)$$

振り子の回転角 ϕ を微小とすると、その周期 τ は、次のようになる。

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{k^2 + \ell_p^2}{\ell_p}} \quad \dots\dots\dots (17)$$

よって、周期 τ を測定することにより、 I''_r を計算することができる。

以上のことより、接続棒を等価力学系で置き換える場合、その運動により生ずる慣性力と慣性偶力は、次の3つよりなる。

- (I) m_{rp} の質量がピストンとともに往復運動をするために生ずる慣性力
- (II) m_{rc} の質量がクランクピンとともに回転運動するために生ずる慣性力、すなわち遠心力
- (III) 修正慣性モーメント I''_r により生ずる慣性偶力 $-I''_r d^2 \phi / dt^2$

クランクはピストンに作用するガス圧力および慣性力に起因する回転モーメントを受けるが、それ以外に(III)によっても回転モーメントにある程度の影響を受ける。しかし、ガス圧力により生ずる回転モーメントに比べ、(III)によるものは著しく小さいため無視してよく、実用上は接続棒をピストンピンとともに往復運動させる質量 m_{rp} とクランクピンとともに回転運動をする質量 m_{rc} とで代表させることができる。

2.3 クランク軸トルク

実物の接続棒の重心Gおよび慣性モーメント I_r は実験的に求めることができる。その結果として、等価系による慣性モーメント I'_r との間には差が生じる。同時に、重心とピストンピン O_p 、クランクピン O_c との距離も等価系と実物とは異なってくる。

図4は、図1にピストンの往復運動によってX軸方向に発生する起振力 F_{px} と、 F_{px} の接続棒方向の成分 F_{pt} を書き入れたものである。 F_{px} 、 F_{pt} は次のように求められる。

$$F_{px} = m_{rec} \ddot{x} \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$F_{pt} = \frac{m_{rec}}{\cos \delta} \ddot{x} \quad \dots\dots\dots (19)$$

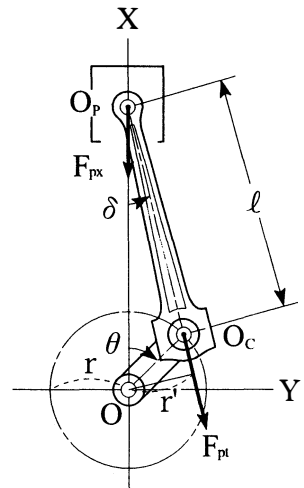


図4 ピストン・クランク慣性力

図4より往復部慣性力によるクランク軸トルクを T_r とすると、次のようになる。

$$T_r = -F_{pt} \cdot r'$$

$$= -rm_{rec} \ddot{x} \left(\sin \theta + \frac{\lambda \cos \theta \cdot \sin \theta}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta}} \right) \dots \dots \dots (20)$$

ここで、 $F(\theta)$ 、 $G(\theta)$ を次のように表す。

$$F(\theta) = \cos \theta + \frac{\lambda \cos \theta}{\cos \theta} + \frac{\lambda^3 \sin^2 2\theta}{4 \cos^3 \delta}$$

$$= \cos \theta + \lambda \cos 2\theta + \dots \dots \dots (21)$$

$$G(\theta) = \sin \theta + \frac{\lambda \cos \theta \cdot \sin \theta}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta}}$$

$$= \sin \theta + \frac{1}{2} \lambda \sin 2\theta + \dots \dots \dots (22)$$

このとき、式(20)は、次のように表すことができる。

$$T_r = m_{rec} r^2 \omega^2 F(\theta) G(\theta) \dots \dots \dots (23)$$

さらに、修正慣性モーメント I_r'' が省略できない量であれば、これによって生じる修正軸トルクを T_r' とすれば、次のようになる。

$$T_r' = -I_r'' \ddot{\delta} \dots \dots \dots (24)$$

この修正軸トルク T_r' と、 T_r' がクランク軸まわりに与える修正軸トルク T_m との関係は、図4より

$$\frac{T_r'}{\ell \cos \delta} = \frac{-T_m}{r \cos \theta} \dots \dots \dots (25)$$

となり、これより次式を得る。

$$T_m = -T_r' \frac{r \cos \theta}{\ell \cos \delta}$$

$$= I_r'' \omega^2 \lambda^2 (1 - \lambda^2) \frac{\sin \theta \cos \theta}{(1 - \lambda^2 \sin^2 \theta)^2} \dots \dots \dots (26)$$

式(26)の変動部分を $J(\theta)$ とおくと、次式のように表される。

$$T_m = I_r'' \omega^2 \lambda^2 (1 - \lambda^2) J(\theta) \dots \dots \dots (27)$$

よって、クランク軸トルクを T_{rm} とすると

$$T_{rm} = T_r + T_m \dots \dots \dots (28)$$

となる。

2.4 接続棒の等価系の運動による計算

図5は、図1、4と同様の図であるが、接続棒の等価系の運動を説明するためのものである。実物の接続棒を使った実験と等価質量 m_{rp} 、 m_{rc} による等価系では、図5のように l は l' となり、 $O_p O_c$ は $O_p Q$ となる。したがって等価系の質量配分の中心は点 O_p と点 Q となり、点 Q の座標 (x_q, y_q) をとすると、次式が得られる。

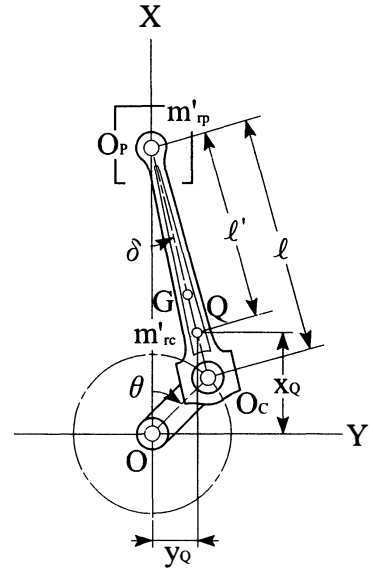


図5 接続棒の等価系の運動

$$\left. \begin{aligned} x_q &= r \cos \theta + (l - l') \cos \delta \\ y_q &= (l' / l) r \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (29)$$

上式より、次式を得る。

$$\begin{aligned} \ddot{x}_q &= - \left(\frac{l'}{l} \right) r \omega^2 \cos \theta - \left(\frac{l - l'}{l} \right) r \omega^2 \\ &\times \left\{ \cos \theta + \frac{\lambda \cos 2\theta}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta}} + \frac{\lambda^3}{4} \frac{\sin^2 \theta}{(\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta})^3} \right\} \end{aligned} \dots\dots\dots (30)$$

$$\ddot{y}_q = - \left(\frac{l'}{l} \right) r \omega^2 \sin \theta \dots\dots\dots (31)$$

さらにこのとき、厳密な等価質量を m'_{rp} 、 m'_{rc} とすると、それらは次のように決定できる。

$$m'_{rc} = m_r \frac{l_p}{l'} = m_{rc} \frac{l}{l'} \dots\dots\dots (32)$$

$$m'_{rp} = m_r \frac{l' - l_p}{l'} \dots\dots\dots (33)$$

よって、質量分布が変化することによる往復運動慣性力への影響は、往復運動に対する換算質量が

$$m'_{rp} + m_{rc} \frac{l - l'}{l'} = m_{rp} \dots\dots\dots (34)$$

となり、 $m_{rc} = m_p + m_{rp}$ として慣性力が作用するため、式(10)に変更はないことになる。また、慣性力を F_{x_q} 、 F_{y_q} とすると

$$F_{x_q} = m_{rc} r \omega^2 \cos \theta + m_{rc} r \left(\frac{l - l'}{l'} \right) \omega^2 F(\theta) \dots\dots\dots (35)$$

$$F_{y_q} = m_{rc} r \omega^2 \sin \theta \dots\dots\dots (36)$$

となる。このとき F_{x_q} の第1項と F_{y_q} は、カウンタウイトによって消去可能であるが、 \ddot{x}_q は点 Q に作用するため F_{x_q} の第2項がモーメントとして作用する。

2.5 往復部慣性力とピッチングモーメントおよびヨーイングモーメント

直列多気筒機関に生じる慣性力について考える。多気筒機関を構成する単気筒機関に生じる X 軸、Y 軸方向の慣性力は式 (1) と式 (11) より、次のように得られる。

$$F_x(\theta) = m_{rec} r \omega^2 \left\{ \left(1 + \frac{m_{rot}}{m_{rec}} \right) \cos \theta + \frac{\lambda \cos^2 \theta}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \theta}} + \frac{\lambda^3 \sin^2 2\theta}{4\sqrt{(1 - \lambda^2 \sin^2 \theta)^3}} \right\} \dots\dots\dots (37)$$

$$F_y(\theta) = m_{rec} r \omega^2 \left(\frac{m_{rot}}{m_{rec}} \right) \sin \theta \dots\dots\dots (38)$$

各気筒のクランクアームを Z 軸まわりに等間隔に配置すれば、回転質量による慣性力の総和 $\Sigma F_x(\theta)$ 、 $\Sigma F_y(\theta)$ は、次のように表せる。

$$\begin{aligned} \Sigma F_x(\theta) &= m_{rot} r \omega^2 \sum_{i=0}^{n-1} \cos \left(\theta + i \frac{2\pi}{n} \right) \\ &= m_{rot} r \omega^2 \sin \left(\theta + \frac{(n-1)\pi}{n} \right) \sin \pi / \sin \frac{\pi}{n} \dots\dots\dots (39) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F_y(\theta) &= m_{rot} r \omega^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sin \left(\theta + i \frac{2\pi}{n} \right) \\ &= m_{rot} r \omega^2 \cos \left(\theta + \frac{(n-1)\pi}{n} \right) \sin \pi / \sin \frac{\pi}{n} \dots\dots\dots (40) \end{aligned}$$

ここで、図6は、直列多気筒機関のクランク軸の構成を示したものである。クランク軸の中央部に原点 O をとり、クランク軸方向に Z 軸、ピストンの運動方向に X 軸、それらと垂直に Y 軸をとったものである。図6(a)が偶数気筒の場合、図6(b)が奇数気筒の場合である。隣接する気筒間隔は h とする。偶数気筒の場合は、クランクのインデックスを $2\pi/(N/2)$ とすれば、原点に対して左右対称に配列できる。このような場合は、ピッチングモーメント M_y およびヨーイングモーメント M_x は共に零にすることができる。一方、奇数配列の場合は、偶数の場合とは異なり M_y 、 M_x を零にすることはできず、アンバランスが生ずることになる。 M_x 、 M_y の合成モーメントを M_s とすると、次式となる。

$$M_s = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

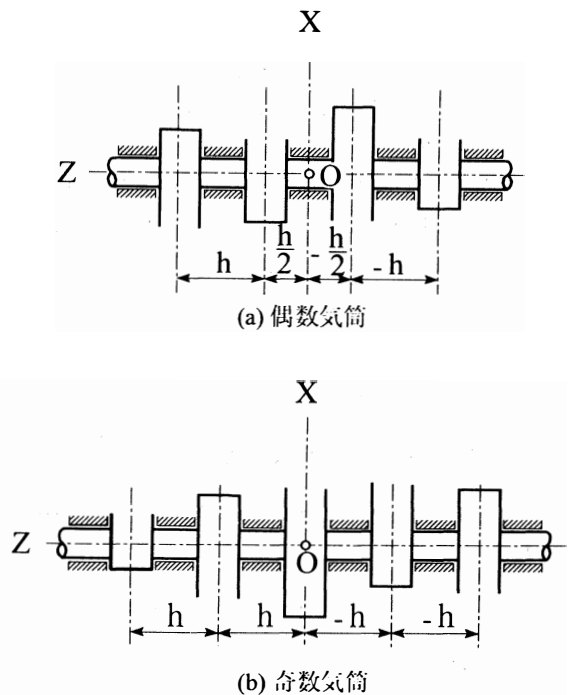


図6 直列多気筒機関のクランク構成

等価系の質量を m_s とし、Z 軸上の $\pm z_s$ の位置に半径 r_s で、位相差 180° を持つバランスを構成させれば、 M_s は次のように得られる。

$$M_s = 2 m_s z_s r_s \omega^2$$

m_s , z_s , r_s を適当に与えれば、一次のピッチングおよびヨーイングモーメントの内 m_{rot} による成分は完全に消滅できる。 m_{rec} によって生じるヨーイングモーメントはない。

3. バランスの構成

往復部質量 m_{rec} と回転部質量 m_{rot} によって生じる慣性力(起振力)ならびに慣性力モーメント(起振モーメント)は、その一次および二次に関してはバランスによって消滅または減少させることが構造的に可能である。以下にそれらのことについて述べる。

3.1 X 軸方向の慣性力バランス

X 軸方向の慣性力の変動は、直ちに機関全体の上下振動の原因になるため、可能な限り縮小しておく必要がある。多気筒機関の慣性力の総和を $F_x(\theta)$ とすると、これはフーリエの無限級数に展開できる。したがって、各次数 $n\theta$ の項の係数に相当する等価系を構成させれば、それらは完全に消滅させることができる。すなわち、バランスの二つの回転軸を Z 軸に対して平行に、ZX 平面に対して対称になるように取り付ける。

図 7 は、X 軸方向の慣性力のバランス機構を示したものである。それぞれのバランス軸には、等価質量が重心 G_1 , G_2 に集中するように固定する。バランスは対称軸心 O_{b1} , O_{b2} まわりに逆回転する構造にし、 n 次の場合には、クランク・シャフトの n 倍の回転速度で回転させる。一方のバランスの回転角を ψ とし、軸 O_{b1} , O_{b2} に生じる慣性力を F_{b1} , F_{b2} とすれば、それらの X, Y 軸成分を F_{b1x} , F_{b1y} , F_{b2x} , F_{b2y} によって表す。図 7 のように、ZX 平面に対して対称に G_1 , G_2 を設置すれば、 $\overline{O_{b1}G_1}$, $\overline{O_{b2}G_2}$ を r_c 、アンバランス質量を m_{b1} , m_{b2} とし、 $\psi = n\theta$ とすれば、機関が等しい角速度で回転する場合は、次式が得られる。

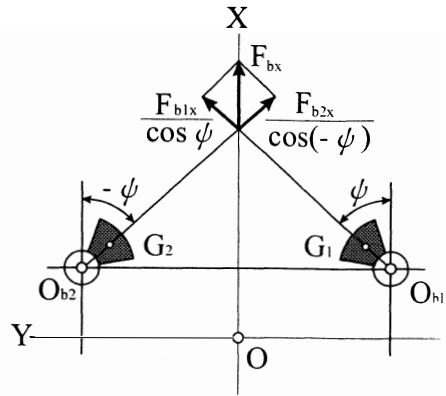


図 7 上下振動のバランスの機構

$$F_{b1x} = r_c (n\omega)^2 m_{b1} \cos(n\theta) \dots\dots\dots (41)$$

$$F_{b1y} = r_c (n\omega)^2 m_{b1} \sin(n\theta) \dots\dots\dots (42)$$

軸 O_{b2} を逆転機構とすれば、次のようになる。

$$F_{b2x} = r_c (n\omega)^2 m_{b2} \cos(-n\theta) \dots\dots\dots (43)$$

$$F_{b2y} = r_c (n\omega)^2 m_{b2} \sin(-n\theta) \dots\dots\dots (44)$$

$m_{b1} = m_{b2} = m_b$ になるようなバランスを取り付ければ、次式となる。

$$\begin{aligned} F_{bx} &= F_{b1x} + F_{b2x} \\ &= 2 r_c (n\omega)^2 m_b \cos(n\theta) \dots\dots\dots (45) \end{aligned}$$

$$F_{b_y} = F_{b_{1y}} + F_{b_{2y}} = 0 \quad \dots\dots\dots (46)$$

式 (41) は X 軸方向だけに生じる慣性力である。よって、 n 次の慣性を消滅させるためには、往復部慣性力の n 次の項と式 (45) の和が零になるようにすればよい。

3. 2 Y軸方向の慣性力バランス

Y 軸方向の慣性力による慣性トルクについては、ガス圧による大きなトルクが加算される。しかし、慣性力によるトルクは小さいことが望ましい。したがって、これをバランスを利用して消滅あるいは減少させるためには、3. 1 節のバランス回転軸の X 軸方向の位置を上下にずらす方法がある。

図 8 に示すように、図 7 における O_{b2} と O_{b1} 両軸の高さを X 軸方向に x_1 だけずらす。 x_1 の相対位置により、偶力 T_b が発生する。これは $F_{b_{1y}}$ によって生じるもので、次のようになる。

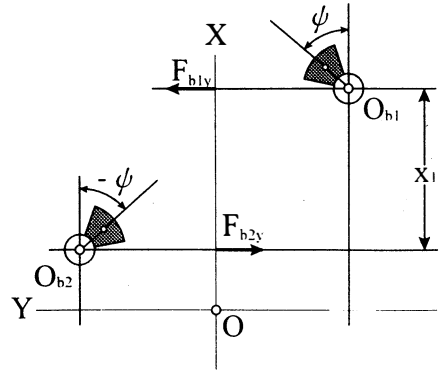


図 8 慣性トルクバランス機構

$$\begin{aligned} T_b &= F_{b_{1y}} \cdot x_1 \\ &= r_c (n\omega)^2 m_b \sin(n\theta) \cdot x_1 \quad \dots\dots\dots (47) \end{aligned}$$

すなわち、 x_1 が正の場合は T_b は右回りのトルクである。慣性トルクに対して逆向きになるように x_1 , r_c , m_b を決定すれば、その分だけ各次数の周期変動は減ずる。

3. 3 ピッチングモーメントに関するバランス

図 9 は、多気筒機関のピッチングモーメントに関するバランス機構を、クランク軸の中央部を原点 O として、直交座標系 O - XYZ で示したものである。ピッチングモーメント・バランス機構は、Y 軸まわりに慣性トルクの変動が生じるように X 軸方向の慣性力を Z 軸に沿った他の位置で逆向きに付加すればよい。このため、ZY 平面上で Z 軸から等距離で平行となる 2 軸を考える。Z 軸より $\pm y_1$ の距離にあるバランスの回転軸を Z_1 , Z_2 とする。 Z_1 軸を負回転、 Z_2 軸を正回転とする。すなわち、位相差は $-\psi$ に対して Z_2 軸 ψ となる。また、 Z_1 , Z_2 軸上の原点から $\pm z_d$ の位置にあり、Z 軸垂直断面上で、両軸はそれぞれ 180° 位相をずらした二組のバランスを設置する。

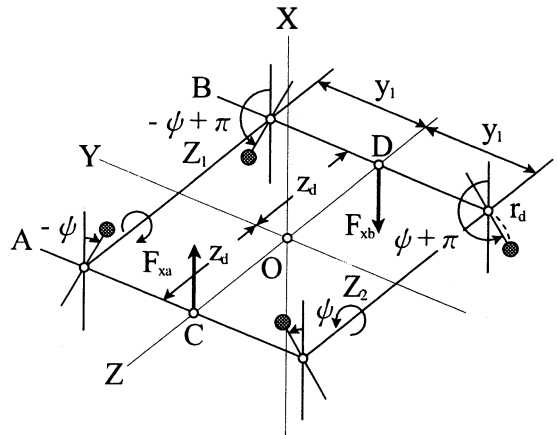


図 9 ピッチングモーメントバランス機構

図 9 で、XY 平面に平行で原点から Z 軸方向に $\pm z_d$ 離れた平面をそれぞれ A 平面、B 平面とする。A 平面上の、 Z_1 軸に r_a 、 $-\psi$ の位置で質量 m_a を付加させれば、 Z_2 軸では r_a 、 ψ の位置となり、次式を得る。

$$F_{x_a} = 2 m_a r_a \omega^2 \cos \psi \quad \dots\dots\dots (48)$$

B 平面上では、次のようになる。

$$F_{x_b} = -2 m_a r_a \omega^2 \cos \phi \quad \dots\dots\dots (49)$$

したがって、原点から z_a の位置に作用する Y 軸まわりの偶力を $M_y(\theta)$ とし、 $\phi = n\theta$ で表せば、次式を得る。

$$M_y(n\theta) = -4 m_a z_a r_a (n\omega)^2 \cos(n\theta) \quad \dots\dots\dots (50)$$

すなわち、Z 軸上の点 C を基準として考えれば、点 D において等価系の位相が 180° 遅れるように取り付ければよい。往復部慣性モーメントの変動および位相がわかれば、バランサも各次数に応じてそれらを消滅させるように構成することができる。しかし、機構学的には、一次および二次が主として考えられるが、三次以上は複雑化し、現状の技術水準では、実用化は無理と考えられる。

3. 4 ヨーイングモーメントに関する バランサ

図10に、多気筒機関のヨーイングモーメントのバランサ機構をクランク軸の中央部を原点 O とし、直交座標系 O-XYZ で示す。ヨーイングモーメント・バランサ機構は X 軸まわりの慣性トルク変動を生じるように Y 軸方向の慣性力を Z 軸に沿った他の位置で逆向きにすればよい。このため、ZX 平面上では Z 軸から等距離で平行にある 2 軸を考える。Z 軸より $\pm x_1$ の距離にあるバランサの回転軸を Z_3, Z_4 とする。 Z_3 軸を負回転、 Z_4 軸を正回転とする。すなわち、位相差は ϕ に対して Z_4 軸は $-\psi + 180^\circ$ となる。また、 Z_3, Z_4 軸上で原点から $\pm z_e$ の位置で、Z 軸垂直断面上で、両軸はそれぞれ 180° 位相をずらした二組のバランサを設置する。

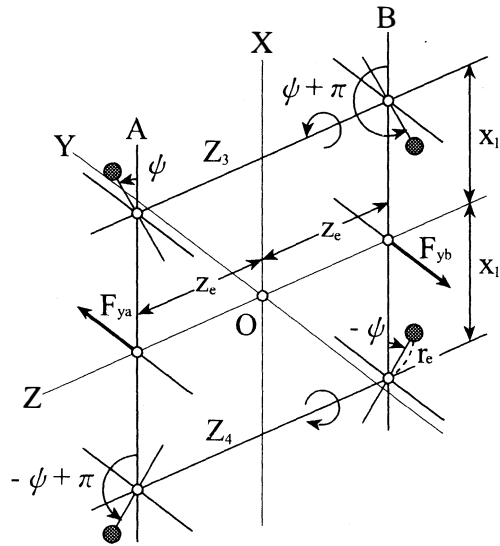


図10 ヨーイングモーメントバランサ機構

図10で、XY 平面に平行で原点から Z 軸方向に $\pm z_e$ 離れた平面をそれぞれ A 平面、B 平面とする。A 平面上の、 Z_3 軸に r_e, ϕ の位置で質量 m_e を付加させれば、 Z_4 軸では $r_e, -\phi + 180^\circ$ の位置となり、次式を得る。

$$F_{y_a} = 2 m_e r_e \omega^2 \sin \phi \quad \dots\dots\dots (51)$$

B 平面上では、次のようになる。

$$F_{y_b} = -2 m_e r_e \omega^2 \sin \phi \quad \dots\dots\dots (52)$$

したがって、原点から z_e の位置に作用する X 軸まわりの偶力を $M_x(\theta)$ とし、 $\phi = n\theta$ で表せば、次式を得る。

$$M_x(n\theta) = -4 m_e z_e r_e (n\omega)^2 \sin(n\theta) \quad \dots\dots\dots (53)$$

3. 5 ふれまわりの釣り合い

ピッチングモーメントとヨーイングモーメントが同時に、しかも同位相で存在する場合は、一次の

問題については、クランク軸まわりのふれまわりバランスを考えればよい。

図11は、ふれまわりバランスの構成を示したものである。 r_f 、 ψ の位置に m_f なる質量を置く。A、B両平面は、原点Oに対して対称の位置にあり、その距離を z_f とすれば、次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} F_{zfa} &= m_f r_f \omega^2 \cos \psi \\ F_{zfb} &= -m_f r_f \omega^2 \cos \psi \\ F_{yfa} &= m_f r_f \omega^2 \sin \psi \\ F_{yfb} &= -m_f r_f \omega^2 \sin \psi \end{aligned} \right\} \dots\dots (54)$$

したがって、モーメントに関しては次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} M_{yf} &= -2 m_f r_f z_f \omega^2 \cos \psi \\ M_{xf} &= -2 m_f r_f z_f \omega^2 \sin \psi \end{aligned} \right\} \dots\dots (55)$$

これらを書き換えると、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} M_{yf} &= -2 m_f r_f z_f \omega^2 \left(\frac{m_f}{m_{rec}} r_f z_f \right) \cos \theta \\ M_{xf} &= -2 m_f r_f z_f \omega^2 \left(\frac{m_f}{m_{rec}} r_f z_f \right) \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (56)$$

一次のピッチングおよびヨーイングモーメントの不釣り合いは、上述の方法によって一部を削減し、残りがあればさらに検討すべきである。

4. 結 論

往復動多気筒機関の動力学は、クランク軸の角速度を一定とする等価系方式で発展してきた。しかし、コンピュータの発達してきた現在では、振動に関する式を無限級数に展開する必要はなくなり、原形の式のままで慣性力や慣性トルク、そしてピッチングおよびヨーイングモーメントを検討できるようになった。そこで、本論文では、往復多気筒機関のバランスに関する研究を進めるに当たって、まずその基礎理論として、振動に関する式を明らかにし、各方向に働く慣性力および慣性モーメントを消滅させるためのバランス機構について解析して、その具体的な方法を示した。

なお、これらの解析結果に基づいて具体的な気筒数の機関について検討を加え、バランスの有効性とその特徴および欠点などについて、さらに考察を進める予定である。

最後に、本研究を進めるにあたり、いろいろとご指導を賜った元富山大学教授高橋幸一先生に深く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 例えば、栗野、改訂版内燃機関工学、山海堂 (1992)、439.
- (2) 例えば、桐・横田・伊藤、富山大学工学部紀要、47 (1996)、59.

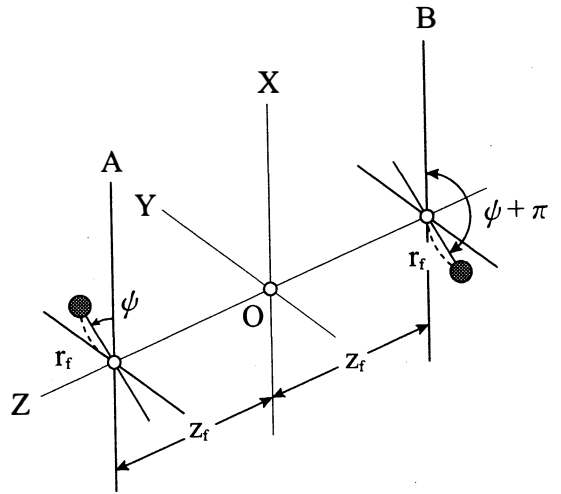


図11 ふれまわりバランス機構



過飽和溶液中での結晶成長に伴う二重拡散対流

前田 知子, 城石 昭弘*, 山根 岳志, 吉田 正道, 宮下 尚

Double-diffusive convection during crystal growth in a supersaturated solution

Tomoko Maeda, Akihiro Shiroishi, Takeshi Yamane,
Masamichi Yoshida and Hisashi Miyashita

Double-diffusive convection during crystal growth in a supersaturated solution was investigated by experiments and numerical analysis. A solution was enclosed in a rectangular vessel holding a molded polycrystal on one of its vertical walls, and was cooled from the opposing wall at a constant rate. The flow of solution was visualized using tracer particles, and changes in temperature and concentration were measured at several points in the vessel. As crystals grew, a horizontally stacked multilayer was developed in the upper part of the vessel. The multilayer was found to originate from warmer, solute-deficient fluid ejected from crystal surfaces. Moreover, a simple mathematical model neglecting the volumetric increase of growing crystals was proposed to describe the flow behavior of solution during crystal growth. The results of numerical calculation using FDM revealed the development of concentration field with growing crystals.

Key Words : Crystallization, Double-Diffusive Convection, Concentration Measurement, Flow Visualization, Multilayer, Numerical Simulation, Supersaturated Solution

1. 緒 言

晶析操作は優れた分離・精製技術として古くから工業上重要な役割を担ってきたが、近年は融液晶析が機能材料製造技術として脚光を浴びており、さらに冷熱を必要としない潜熱蓄熱技術としての可能性も検討されるようになってきた。通常の溶液晶析が溶液中に懸濁した結晶の強制対流下での成長を扱うのに対し、融液晶析や潜熱蓄熱では液相中に設置されたバルク結晶が自然対流下で成長する場合を対象とすることが多い。この際、結晶の成長は結晶化熱の放出による熱対流を引き起こし、溶液が多成分系であればそれに加えて低濃度溶液の排出による溶質対流が発生する。このような流れは逆に結晶の成長速度や形状に大きな影響を及ぼすため、両者の相互関係を解明することは極めて重要であるが、この点を意識した研究はあまり見受けられない。

一方融液凝固の分野では可視化の困難な融液の代わりに透明な水溶液を用いた検討が多数行われており、その中には高濃度溶液の冷却による溶質の析出を取り扱った研究もある^{1,2,4,6)}。しかし、いずれも準安定領域が狭く殆ど平衡状態を保ったまま結晶が成長する系を対象としており、また氷の析出が同時に起こる程冷却度の大きい条件が扱われている。晶析操作のように過飽和（過冷却）状態で

*日産化学工業㈱

溶質のみが結晶として成長する系を対象とした研究は見られない。

そこで筆者らは比較的広い準安定域を持つスルファミン酸アンモニウム水溶液を対象に、過飽和溶液から結晶が成長するとき液相側に発生する自然対流の挙動と結晶成長の関係について実験的検討を行ってきた。前報⁵⁾では矩形容器に封入した飽和溶液の側方冷却によりバルク結晶を成長させ、流れ場の可視化と局所温度の測定を行った。その結果、結晶の成長に伴い液相上部に水平多重セルが形成されることが判明した。この流れ構造は熱対流と溶質対流が複合した二重拡散対流によるものと推定されるが、セル内の濃度に関する情報が無いため明確な議論は不可能であった。

そこで本研究では前報と同様の系を対象に電気伝導度法による局所濃度の測定を行い、濃度変化と流れ構造の関係についてより詳細な検討を加えた。さらに、流れ場と濃度場の関係を明確にする目的で結晶密度を無限大と仮定した簡略な結晶成長モデルを提案し、数値シミュレーションと実験結果の比較検討を行った。

2. 実 験

2・1 実験装置及び方法

図1に実験装置の概略を示す。試験槽は内法寸法が高さ $H=40\text{mm}$ 、幅 $L=30\text{mm}$ 、奥行き $W=30\text{mm}$ の矩形容器で、壁面は厚さ 20mm の透明アクリルである。ただし右壁面は厚さ 5mm の銅板を用いた冷却面となっており、隣接した冷却室を流れるブラインによって温度が制御できる。対向する左壁の中央には縦 20mm 、横 26mm 、深さ 3mm の窪みが設けられており、ここに粉碎結晶をプレス整形したバルク結晶を埋め込む。実験開始前にバルク結晶が溶出するのを防ぐため、左壁面にはプラスチック板を挿入して結晶と溶液が遮断できるようになっている。なお、試験槽は前面の可視化面を除き全て厚さ 60mm の発泡スチロールにより断熱した。

本実験では流れ場の可視化、局所温度及び濃度の測定を行った。流れの可視化には粒子トレーサー法を用いた。トレーサーは、密度が供試溶液とほぼ等しくなるよう組成を調整したポリメタクリル酸メチルとタルクの混合物を溶解、固化させて粉末化したものであり、その粒子径は $50\sim 100\mu\text{m}$ である。試験槽下部からスリット光をあて、試験槽前面より流れを観察した。なお、トレーサーの存在により結晶の成長が促進されるようなことはない⁵⁾。

また流れの可視化と同時に 0.1mm のクロメル-アルメル熱電対を用いて局所温度の経時変化を測定した。熱電対の位置は図1に1～7の×印で示した通りであり、左壁から 2mm 及び 15mm 、上壁から 7mm 、 20mm 、 33mm の6点と右壁中央の1点である。

一方、濃度の測定は図2に示すような自作の白金電極プローブを用いた電気伝導度法により行った。

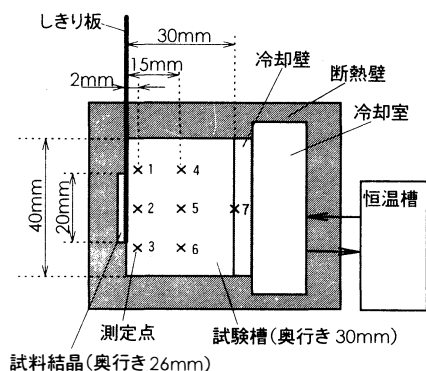


図1 実験装置の概略図

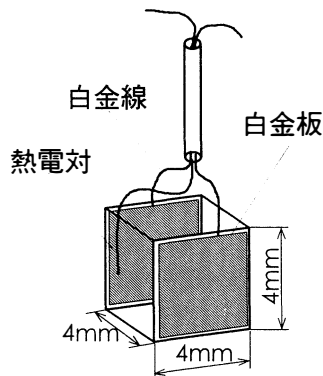


図2 濃度測定用白金電極

プローブは4 mm×4 mm×0.1mmの白金板2枚をガラス棒の内側に固定させたものであり、溶液の電気伝導度と温度を測定すれば溶液濃度が決定できる。この電極による濃度の測定精度は±0.15wt %であった。測定は図1の点4及び5に対しそれぞれ別個に行った。なお、トレーサの混入は濃度測定のため、濃度測定に際し流れの可視化は行っていない。

2・2 実験条件

本研究では供試溶液として準安定域が比較的広いスルファミン酸アンモニウム (NH₄SO₃NH₂) 水溶液を使用した。この溶液は無色透明であり可視化にも適している。溶液濃度は66.7wt%，その飽和温度は20℃である。実験は飽和状態（すなわち初期温度は20℃）から開始し、冷却速度は $r_c=0.05, 0.1K/min$ の2通りとした。

2・3 結晶成長領域

図3に本研究で使用したNH₄SO₃NH₂水溶液の溶解度曲線を実線で示す。液中に結晶が含まれていない場合未飽和溶液が冷却されて飽和溶液となっても核発生は起こらず、さらに冷却が進み過冷却度がある程度大きくなったとき初めて結晶が析出する³⁾。この点を結んだものが過溶解度曲線であり、その上部が不安定域、下部が準安定域となる。一方溶液中に既存結晶がある場合は準安定域でも結晶成長が起こるが、NH₄SO₃NH₂水溶液の場合結晶共存下でもある程度過冷却が進行しないと結晶は析出しない⁵⁾。そこで、結晶共存下で初めて結晶が析出する濃度を擬溶解度、それを結んだものを擬溶解度曲線と定義した*。図3の破線は擬溶解度曲線を実測した結果を示す。破線と実線の間で表される領域では結晶が共存していても肉眼で観察されるような結晶成長は起きない。図中の各曲線は次のような Clausius-Clapeyron 型の式で表される。

$$\text{溶解度曲線： } \ln c'' = 10.92 - 1645/T \quad (1)$$

$$\text{過溶解度曲線： } \ln c'' = 10.77 - 1557/T \quad (2)$$

$$\text{擬溶解度曲線： } \ln c'' = 10.82 - 1590/T \quad (3)$$

ここで c'' は溶媒基準濃度 [g-solvent/100g-solute]、 T は絶対温度 [K] である。

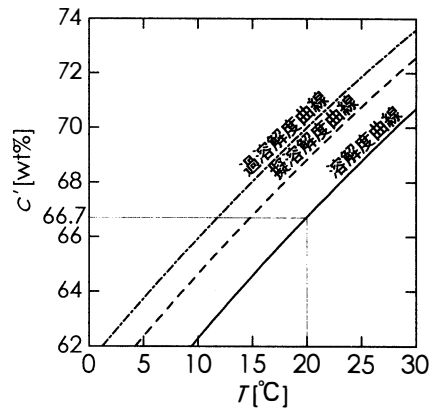


図3 NH₄SO₃NH₂水溶液の溶解度曲線

3. 数値解析

3・1 支配方程式

液相側の支配方程式を導出するにあたり、(1) 現象は二次元的に起こる、(2) 流体は非圧縮性である、(3) 容器内の流れは層流である、(4) Boussinesq 流体近似が成り立つ、と仮定した。過度・流れ関数法を用いると、無次元化支配方程式は以下のようになる。

$$\text{過度輸送方程式： } \frac{\partial \Omega}{\partial \tau} + U \frac{\partial \Omega}{\partial X} + V \frac{\partial \Omega}{\partial Y} = Pr \left(\frac{\partial^2 \Omega}{\partial X^2} + A^{-2} \frac{\partial^2 \Omega}{\partial Y^2} \right) + Pr \left(Ra_t \frac{\partial \theta}{\partial X} - Ra_c \frac{\partial C}{\partial X} \right) \quad (4)$$

$$\text{過度の定義式： } -\Omega = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial X^2} + A^{-2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Y^2} \quad (5)$$

*ただしこれは結晶が析出したときの結晶近傍における温度と濃度を表しており、あくまで便宜的に定義したものである。既存結晶表面の温度と濃度を厳密に測れば、飽和もしくはそれに近い状態にあると考えられるが、非常に難しい議論である。

流れ関数の定義式： $U = \frac{\partial \Psi}{\partial Y}, \quad V = -\frac{\partial \Psi}{\partial X}$ (6)

温度方程式： $\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + A^{-2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2}$ (7)

濃度方程式： $\frac{\partial C}{\partial \tau} + U \frac{\partial C}{\partial X} + V \frac{\partial C}{\partial Y} = \frac{1}{Le} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + A^{-2} \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} \right)$ (8)

3・2 結晶成長モデル

本解析では結晶成長の条件を次のようにモデル化した。(5) 既存結晶からのみ結晶は成長する。(6) 結晶表面の状態が擬溶解度曲線に達したら結晶の成長が始まり、以後は擬溶解度曲線と溶解度曲線に挟まれる領域において結晶成長が起こる。(7) 結晶成長は溶液濃度と飽和濃度の差を推進力として起こり、結晶の線成長速度 $d\lambda/dt$ は次式で与えられる。

$$\frac{d\lambda}{dt} = K_0 \phi (c - c_s) \tag{9}$$

ここで K_0 は結晶成長速度係数、 ϕ は形状係数であり、その積 $K_0\phi$ を線成長速度係数という。一方、固液界面は結晶の成長に伴い変化し、しかもその形状が複雑に変化するため、そのモデル化は非常に難しい。そこで、(8) 結晶の密度は無限大であり、結晶が成長しても結晶面は初期状態のまま変化しないものと仮定した。実際は結晶の成長に伴い固液界面が複雑化し界面面積も増加するため、このモデルによる結晶成長量の計算値は明らかに実測値よりも小さくなる。しかし、結晶成長に伴う濃度場、温度場、流れ場の変化の大略を把握するという本計算の目的は果たせるものと考えた。それは、結晶近傍の流れは複雑であるが、液側の温度及び濃度境界層は非常に薄いため、そこでの流れが液相全体の流れ構造に及ぼす影響は小さいと推察されるからである。さらに、(9) 結晶の熱容量は0であり、結晶化熱はすべて液相に放出されると仮定する。

3・3 境界条件

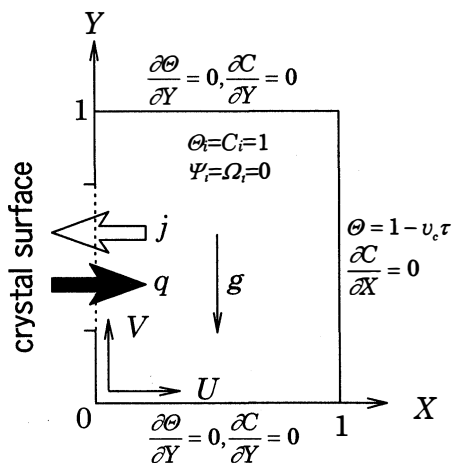
図4に解析領域と境界条件を示す。初期温度 T_i 、初期濃度 c_i で均一な静止した飽和溶液を右壁面より一定速度で冷却する。上下壁面および左壁面（中央部に試料結晶が存在）は断熱、四面全て物質移動は零とする。ただし結晶面において先の仮定(6)に示した結晶成長条件が満たされた場合、その位置での条件は以下の式によった。

$$\frac{\partial C}{\partial X} = \frac{L}{D} \rho_s K_0 \phi (C - C_s) \tag{10}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{D(c_i - c_0)}{k(T_i - T_0)} \Delta H_c \frac{\partial C}{\partial X} \tag{11}$$

さらに全壁面上で流れ関数と速度を零とした。後者の条件を渦度で表すと図4下方の式の様になる。

以上の基礎方程式を対流項には1次の風上差分、他の空間微分には中央差分、時間微分には後退差分を用いて離散化し、SOR法を用いて数値的に解いた。この系では結晶面近傍の極狭い領域に大きな濃度と温度の勾配が発達すると考えられるため、左右壁面近傍が密となるような不等分割格子を用いた。分割数は30×32である。



壁面渦度： $\Omega_w = 2(\Psi_w - \Psi_N)/(\Delta X)^2$ at $X=0, 1$
 $\Omega_w = 2A^{-2}(\Psi_w - \Psi_N)/(\Delta Y)^2$ at $Y=0, 1$
 壁面流れ関数： $\Psi_w = 0$ at $X=0, 1, Y=0, 1$

図4 解析領域及び境界条件

4. 結果および考察

4・1 フローパターンと結晶形状

図5に流れ場の可視化写真および流れ場を模式化したフローパターンを示す。実験開始後、冷却に伴い試験槽内には時計回りの対流が発達する(図5(a))。実験開始後約65minに結晶が析出しはじめる(図5(b))。結晶析出後、試験槽上部にセルが形成されるが(図5(c))、さらに時間が経過すると

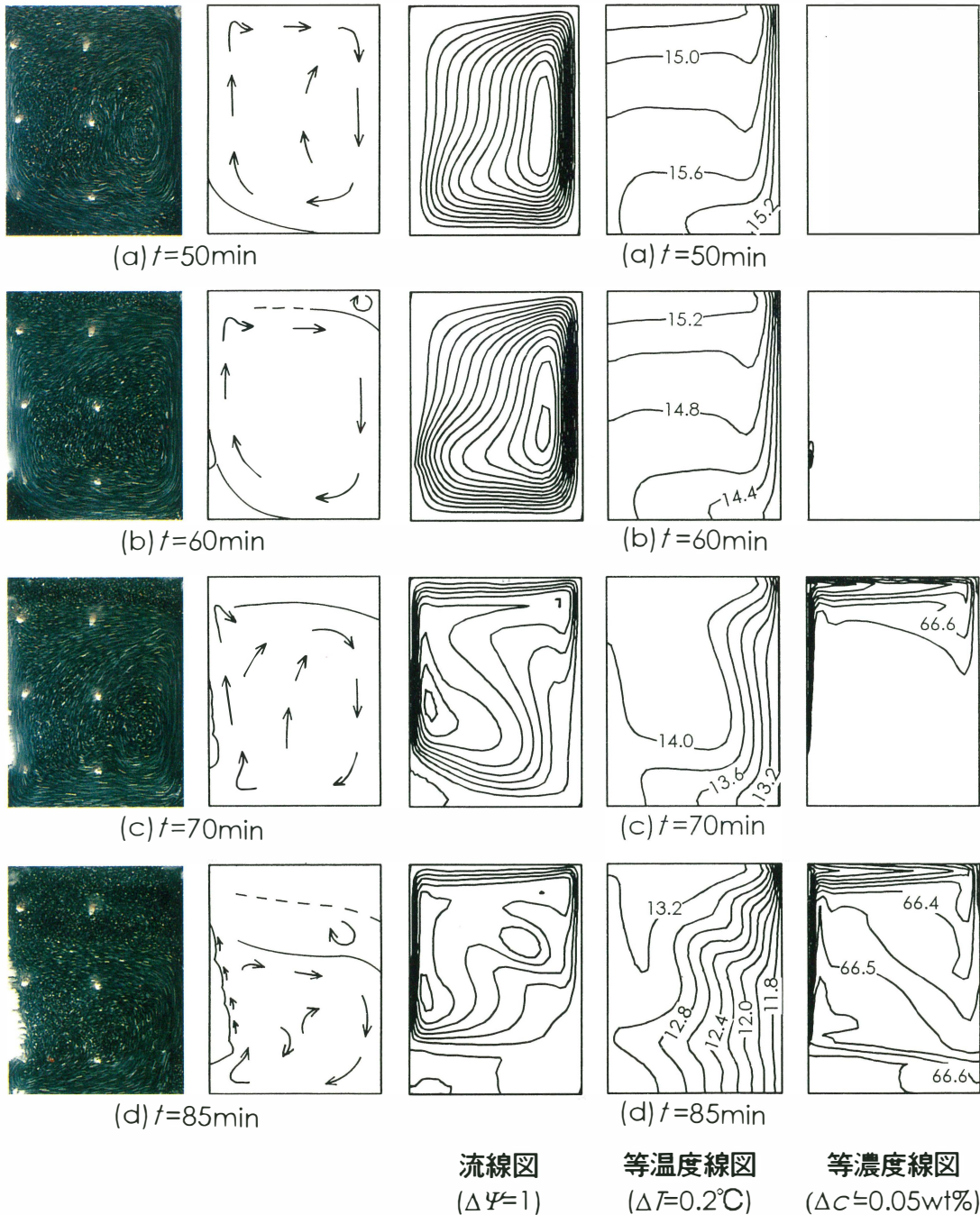


図5 可視化写真及びフローパターン

図6 数値計算による流れ場、温度場、濃度場の経時変化

その上部に新たなセルが出現し、最終的に水平多重セル構造が形成された(図5(d))。

結晶は最初バルク結晶下端より成長を始めるが、これは最初、溶液が1つの熱対流によって温度成層し、容器下部の方が低温となっているためである。結晶が成長すると界面近傍に高温低濃度の溶液が排出され、容器上部に蓄積される。従って上方へ向かうに従い過冷却度は低下し、結晶の析出量も少なくなる。

析出した結晶は幅2~4mmの板状晶である。壁面近傍の結晶は密に詰まっているが、壁面から離れるに従って空隙率は大きくなる。

4・2 局所温度と濃度の変化

冷却速度 $r_c = 0.1K/min$ における局所温度と濃度の測定結果の例を図7にプロット点で示す。

測定点4では結晶が析出し始める約60minに温度の低下が抑制され、濃度が低下しはじめた。液温変化には再現性があるのに対し、濃度変化には結晶析出後のばらつきが大きく、他の測定点と異なり再現性は得られなかった。この原因は測定点4が結晶析出後に形成されるセルの界面に近い(図5(c), (d))ためである。実験ごとに界面の位置はわずかに変化しており、セル界面と測定点4の相対的な位置関係によって濃度変化の示す挙動は異なってしまう。この結果はセル界面の上下で濃度が大きく異なることを示唆している。

測定点5の濃度は冷却開始直後から40minあたりまで緩やかに減少している。結晶の析出が肉眼で観察されるのはそれより後、60min頃であるから、これは微結晶の析出によるものと考えられる。

一方、結晶の析出が起こってもしばらく測定点5の濃度が変化しないことから、結晶析出によって結晶近傍に排除された希薄な溶液は主に容器上部の層の形成に用いられたことが分かる。濃度低下が始まるのは100min頃であり、これは容器上部のセル界面が測定点5に達する時刻とほぼ一致する。このことから結晶近傍で排出された低濃度溶液が上層にのみ取り込まれていることが分かる。

4・3 結晶成長モデルの妥当性

次に結晶成長モデルと数値計算の妥当性について検討する。ここでは実験結果と同様、 $r_c = 0.1K/min$ における計算結果を例として示す。

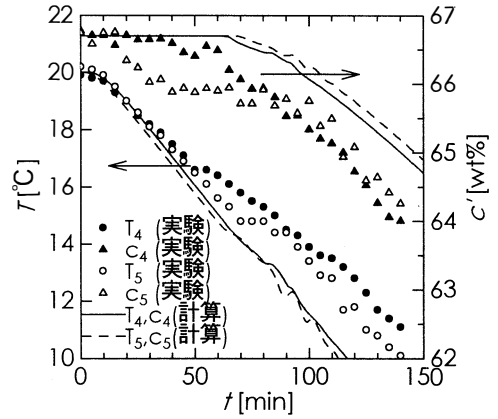


図7 局所温度・濃度の経時変化

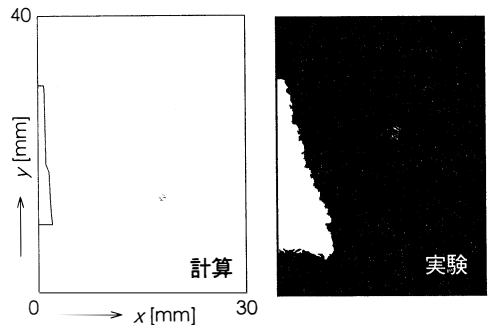


図8 結晶形状 (t=140min)

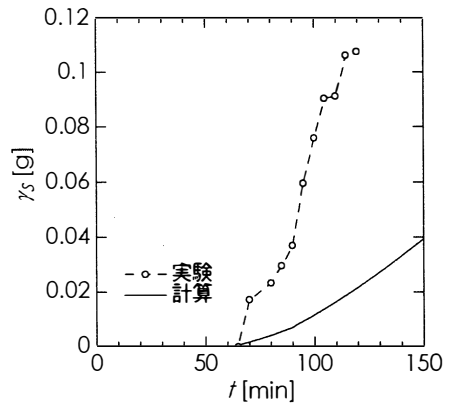


図9 結晶の体積分率の経時変化

表1 物性値

D	[m^2/s]	2.0×10^{-9}
α	[m^2/s]	1.378×10^{-7}
k	[$J/(m \cdot s \cdot K)$]	0.615
$Ko\phi$	[$m^4/(kg \cdot s)$]	7.47×10^8
ΔH_c	[J/kg]	1.2×10^5
ρ_s	[kg/m^3]	1.58×10^3

数値計算に用いた物性値を表1に示す。なお、線成長速度係数は別途予備実験を行って線成長速度を測定し、(9)式より算出した。また ϕ については形状を球と仮定して決定した。計算条件を無次元数で表すと、 $Le=68.9$, $Pr=27.5$, $Ra_t=2.77\times 10^{-6}$, $Ra_c=1.73\times 10^{-6}$, $u_c=3.27\times 10^{-1}$ となる。

図6は数値計算によって得られた流線図、等温度線図、等濃度線図である。図5の実験結果と同時刻のものを示した。

フローパターンと流線図を比較すると、結晶析出前は冷却壁側で流れが強い時計まわりの対流が起こっていること、結晶析出後に結晶近傍の流れが強くなること、容器上部に層が形成されること、など実験結果の特徴が良く現れていることが分かる。

図7の実線及び破線は計算より求めた局所温度・濃度の経時変化を示したものである。実験では結晶成長が始まると温度低下が大きく抑制されるのに対し、計算ではその効果が余り現れていない。また濃度変化に対しても、その傾向が類似しているとはいえ、低下速度は実験結果よりも小さい。これは最初に述べた通りこのモデルが固液界面積を小さく見積もっているためと考えられる。

そこで $t=140\text{min}$ における結晶成長量の実験結果と計算結果を比較したところ図8のようになった。右図は可視化写真、左図は計算で得られた結晶面の溶質質量流束より算出したものである。結晶の成長量は明らかに計算の方が少ない。この差が結晶化熱の発生量や濃度の変化量に影響していると言える。従って、結晶成長に伴う固液界面積増大の効果を定量化しパラメータとしてモデルに組み込むなどの改良を行えば、計算結果はより実験に近づくものと期待できる。一方で成長量の垂直方向分布は実験と類似した傾向を示しており、本モデルは基本的に妥当であると考えて良い。

図9は結晶成長量の経時変化を示す。図では結晶成長量を容器断面に対する析出結晶の面積分率 γ_s によって表してある。実験では結晶の析出が始まると急激に結晶が析出しているが、計算の場合そのような傾向は見られない。仮に上述の方法でモデルを改良したとしても、結晶がある程度成長しなければ界面積増大の効果は現れないであろうから、依然としてこの傾向を捉えることはできないと予測される。むしろこの傾向は測定点5の濃度が実験開始直後低下することと関係しているのではないかと考えられる。すなわち、実験開始後溶液内に微結晶が発生し、バルク結晶の成長を促す役割を果たしている可能性がある。この点については今後更に検討を重ねなければならない。

4・4 数値計算による温度場と流れ場

図6の等温度線図を見ると、結晶析出前の等温度線はほぼ水平であり温度成層しているが、結晶析出に伴い徐々に変形してゆき、垂直方向に蛇行した形を描くようになる。等温度線の歪みはその方向に流れがあることを示し、これは二重拡散対流の典型的な特徴である。また、結晶析出後結晶近傍の等温度線は上に凸になっており、結晶化熱の発生により結晶近傍の温度は高くなることが分かる。

一方、等濃度線図から、結晶成長に伴って低濃度溶液が容器上部に蓄積してゆく様子が分かる。また最下段の図において等濃度線は対流セル内で疎、セル界面で密となっており、これは垂直方向の濃度分布が階段状であることを示している。これも二重拡散対流の大きな特徴である。

5. 結 言

矩形容器内の過飽和溶液を側壁から冷却したとき生じる、結晶成長と自然対流の関係を探るため、流れ場の可視化、局所温度及び濃度の測定、そして新規に提案した結晶成長モデルによる数値計算を行った。その結果、結晶析出により排出される高温低濃度溶液が容器上部に蓄積し水平多重セルを形成すること、この流れ構造は二重拡散対流によること、結晶はバルク結晶下部で著しく成長し、それは液相内の濃度成層によるものであることなどが明らかとなった。さらに、冷却開始後液相中には微

結晶が発生しており、バルク結晶が成長し始めたときそれを促進する働きのある可能性が示唆された。また、ここで提案したモデルにより温度場、濃度場、流れ場の定性的説明が可能となった。

謝 辞

実験の遂行にあたり、富山大学工学研究科大学院生 中村清経氏（現在、(株)東洋設計）、富山大学工学部学生 渡邊武氏の御協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する。

使用記号

A : アスペクト比 ($=H/L$)	[-]	v : y 方向の速度	[m/s]
C : 無次元濃度 ($= (c-c_0)/(c_i-c_0)$)	[-]	v_c : 無次元冷却速度 ($=r_c L^2 / \alpha (T_i - T_0)$)	[-]
c : 質量濃度	[kg/m ³]	X : x 方向の無次元距離 ($=x/L$)	[-]
D : 溶質拡散係数	[m ² /s]	x : 水平座標	[m]
g : 重力加速度	[m/s ²]	Y : y 方向の無次元距離 ($=y/H$)	[-]
H : 試験槽高さ	[m]	y : 垂直座標	[m]
ΔH_c : 結晶化熱	[J/kg]	α : 温度伝導度	[m ² /s]
k : 熱伝導度	[J/(m \cdot s \cdot K)]	β_c : 濃度に関する体膨張係数	[m ³ /kg]
$K_0 \phi$: 線成長速度係数	[m ⁴ /(kg \cdot s)]	β_t : 温度に関する体膨張係数	[1/K]
L : 試験槽の幅	[m]	γ_s : 結晶の体積分率	[-]
Le : ルイス数 ($=\alpha/D$)	[-]	ν : 動粘度	[m ² /s]
Pr : プラントル数 ($=\nu/\alpha$)	[-]	Θ : 無次元温度 ($=(T-T_0)/(T_i-T_0)$)	[-]
Ra_c : 溶質レイリー数 ($=g \beta_c (c_i - c_0) (L^4/H) / (\nu \alpha)$)	[-]	ρ_s : 結晶の密度	[kg/m ³]
Ra_t : 熱レイリー数 ($=g \beta_t (T_i - T_0) (L^4/H) / (\nu \alpha)$)	[-]	τ : 無次元時間 ($=\alpha t / L^2$)	[-]
r_c : 冷却速度	[K/s]	Ψ : 無次元流れ関数 ($=\Psi L / \alpha H$)	[-]
T : 温度	[K]	ϕ : 流れ関数	[m ² /s]
t : 時間	[s]	Ω : 無次元渦度 ($=\omega L^3 / \alpha H$)	[-]
U : x 方向の無次元速度 ($=uL/\alpha$)	[-]	ω : 渦度	[1/s]
u : x 方向の速度	[m/s]	<u>下添文字</u>	
V : y 方向の無次元速度 ($=vL^2/\alpha H$)	[-]	i : 初期値	
		0 : 基準値	

参考文献

- 1) Chen, C. F. and J. S. Turner, *J. Geophys. Res.*, **85**, 2573 (1980).
- 2) Christenson, M. S. and F. P. Incropera, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **32**, 47 (1989).
- 3) Miers, H. A., *J. Chem. Soc.*, **89**, 413 (1906).
- 4) Nishimura, T., T. Imoto and H. Miyashita, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **37**, 1455 (1994).
- 5) Shiroishi, A., M. Yoshida, T. Yamane and H. Miyashita, submitted to *J. Chem. Eng. Japan*
- 6) Thompson, M. E. and J. Szekely, *J. Fluid Mech.*, **187**, 409 (1988).

平成 8 年度修士・博士論文概要一覧

〔電子情報工学専攻〕

画像処理によるヒドラを用いたバイオアッセイ法に関する研究

相 川 治 毅

細胞成長因子などの高感度濃度測定法として、ヒドラの触手球形成応答を指標としたバイオアッセイ法が知られている。本研究では、ヒドラ画像を顕微鏡を介してパソコンに取り込み、その触手球形成応答を自動識別する画像処理システムを構築した。ヒトの視覚系を模擬した二値化処理法を開発すると共に、特徴量として触手の長さやフラクタル次元などを用いた結果、触手球形成応答の識別率は94.3%となり、本システムの有効性を確認した。

単巻線形変成器に関する研究

青 山 忠 義

本研究では、効率が良く各方面に用いられる単巻線形変成器に関して、非対称結合 2 本線路を用いて分布定数論的に解析し研究を行う。今回、高周波において良好な結果が得られるような場合について、理論解析及び回路を試作し実験例を報告する。また、その応用として、単巻線変成器を用いた平衡-不平衡変換回路（バルン）についての研究を行う。バルンが単巻線変成器を用いて構成できることを示し、理論解析及び実験例を報告する。

GaAs 基板上の GaS 薄膜の初期成長過程

浅 井 邦 彦

GaAs は Si を上回る物性特性を持つとして半導体分野において大変注目されている。しかし、GaAs は Si のように酸化膜を利用したプレーナ技術のようなものが確立されていなく、デバイスへの応用が困難なものとなっている。そこで、本研究では GaAs の表面を GaS 薄膜で覆い、表面の不活性化および表面保護膜の作製を行った。作製した GaS/GaAs ヘテロ界面は、低速電子エネルギー損失分光 (LEELS) を中心として X 線光電子分光 (XPS)、原子間力顕微鏡 (AFM) により評価した。

情報の伝達と適応のモデル化と解析

阿 部 貴 幸

本研究では、情報を探査して、まわりの環境に適応し、変化していく組織の様子をモデル化し、解析している。このモデルは、伝統的な組織の行動モデルに基づいており、モデルから得られる結果は、不安定で不明確な環境のもとで、組織の行動と業績との関係や、時間と業績との関係、また、急速な経験への対応は不利な結果となる可能性がある事などを示し、組織が行動する事と、組織が経験へ適応する事との関連性を明らかにする。

交流フィルタをもつ三相ダイオード整流器の 高調波計算に関する研究

池 田 豊

半導体素子を使った整流回路の交流側には、その機構上から、高調波電流が流れ、そこに接続される機器に対して損失の増加、加熱などの影響がある。このような影響を考察する場合、高調波を解析し、その特性を明確に把握することが重要である。本研究は、重なり角に、フィルタを考慮した上で、その回路定数を変数として高調波電流を解析的に表現し、簡単な代数計算で求められる方法を提案する。また、シミュレーション法との比較により、本法の有効性を確認した。

広帯域分配回路のパルス応答解析

石 井 裕 之

分布定数結合2本線路で構成される広帯域2分配回路において、分布定数論的に耐ノイズ特性を示す分離特性、分配の効率を示す分配特性のパルス応答を解析した。解析手法として数値的ラプラス逆変換法のひとつである高速ラプラス逆変換 FILT (Fast Inversion of Laplace Transform) を用い、同時にオイラー変換を行いシミュレートした。また、複素積分を用いたラプラス逆変換や、実測値との比較も行っている。

推論パスネットワークによる仮説推論の推論時間の予測

一色 浩 史

仮説推論は、矛盾を含む知識を扱うことができるが推論時間の遅さが欠点ある。もし推論時間が予測可能なら、推論を行ううえでの指針が明確になる。本論文では、仮説推論システムである KICK-SHOTGAN において、推論時間の予測を試みた。ネットワークの静的状態から AND と OR の数を調べ推論時間を予測している。現時点では仮説合成の時間だけであるが本方式の有効性を実証できた。

Si (001) 基板上への AlSb 薄膜の成長

伊 藤 禎 朗

78000cm²/V・s もの高い電子移動度を持つ InSb を集積化を考慮して Si 基板上に成長させる場合、19.3%もの大きな格子不整合のために良好な薄膜が得られない。そこで、格子不整合を緩和するためのバッファ層の使用が効果的であると考え、Si 基板上に AlSb 薄膜を成長させ、バッファ層としての表面性、結晶性の評価を AFM, XRD を用いて行った。その結果、基板温度550°Cで最も表面性、結晶性のよい AlSb 薄膜が得られた。

段階的弛緩法による文字列抽出に関する研究

稲 垣 洋

文書画像の認識には文字列の抽出が重要となる。文字列の抽出法には様々あるが、本研究ではこれまでの手法では抽出が困難であった。複雑なレイアウトを持つと考えられる雑誌のグラビアや表紙上にある文字列に対しても文字列が抽出できるように、ボトムアップ手法として、確率的弛緩法を用い、文字をもっともらしい方向に連結させ、それを段階的に適用することにより文字列を抽出する方法について考えた。

焦電検出法による硫酸グリシンの分極反転の観察

井上裕康

焦電検出法を利用して硫酸グリシン (TGS) における分極反転プロセスの観察を行った。そして矩形波パルスの印加によって生じる b -軸と垂直な平面における分域パターンの変化を観察した。それにより、単分域状態にした結晶に形成された反転分域の核の数は印加電場 E を大きくすると増加し、不均質核形成することが分かった。また分域壁は c -軸垂直方向に伸びた楕円状に一定速度で移動し、分域壁速度は E^n ($n=1.0\sim 1.3$) に比例することが分かった。

微小視角における色覚特性に関する研究

井上雅文

人間の色覚は、極めて微小な視野もしくは視角においては特異な特性を示す。一方、色覚特性を微小視角に至るまで広範囲に渡って、定量的に測定した報告は極めて少ない。

本研究では、特に光源色を用いて、視角が色の見え方に及ぼす影響について、カラーネーミング法及びマッチング法の二つの手法を用いて測定した。結果より、微小視角においては青色系統の色相に対する感度が急激に低下することが明らかとなった。

水滴発電方法に関する基礎研究

植木研三

自然エネルギーを利用した新しい発電方式として、水滴を利用した考えを提示する。このシステムは、静電誘導により水滴に電荷を持たせ、水槽に蓄積し、外部に接続したコンデンサーに集電した後は水のみを排出するという方法である。我々はこれを発電システムへの可能性を探るため、多段システムを考え、このための基礎実験を行った。また、水滴発電と水力発電の電力を計算し、比較することで、水滴発電の実用性を考察した。

境界要素法による雷雲電荷分布のシミュレーション

上 田 立 志

地上付近で観測される電界のデータから雷雲の電氣的構造を推定するための逆問題解法を検討し、計算機シミュレーションによって手法の妥当性を検証した。すなわち、雷雲電荷分布を点電荷群と見なし、電荷と地上電界との関係を境界要素法で表現することによって、観測地上電界に対応した点電荷の空間的分布を新しく提案した反復手法により求めた。また、シミュレーションは2次元場について行なった。その結果、従来検討されてきた推定手法である最小2乗法やSPM法に比べて、精度の良く推定できることが明らかになった。ただ、計算時間の点で従来法に劣ることも明らかになった。

強誘電履歴曲線の精密自動測定に関する研究

宇佐見 賢 一

強誘電結晶の精密な履歴曲線は、三角波電場の印加によって生じる反転電流から得られる。その電流から結晶の伝導度と容量の寄与を取り除き、残った電流を積分することによって純粋な強誘電分極を得た。測定は全てコンピューターを用いて行なった。履歴曲線のパラメーター（自発分極、抗電場、内部バイアス電場）だけでなく、比誘電率も広い周波数範囲で自動的に得られた。その中でも、TGSの自発分極については広い温度範囲で調べた。

MBE 成長による $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}/\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 量子井戸の形成と その2次元電子の電氣的特性

大 塚 栄太郎

Si/SiGeのヘテロ接合によるバンド不連続を利用して、量子井戸構造をMBE成長によって作成した。SiGe合金層とSi基板の間にSi/Ge超格子バッファを挿入することによって転位の抑制を行い、ドーパントのSbは δ ドーピング法によりドーブした。Ge組成比 $x=0.3$ 、井戸幅 200 \AA 、スペーサ幅 150 \AA 、ドーブ量 $3.6 \times 10^{12}\text{ cm}^{-2}$ の試料に対して、5.5Kで移動度 $1860\text{ cm}^2/\text{Vs}$ （キャリア密度 $8 \times 10^{11}\text{ cm}^{-2}$ ）が得られた。

p型 Si (001) 基板を用いた表面 2 次元正孔層の形成とその電気的特性

大 平 聡

二次元正孔ガスの作製過程を簡略化させるために、Si 基板を供給源として利用し基板上に直接スペーサー層、チャンネル層、キャップ層を成長させた後に、ホール測定によってその電気的特性を測定した。電極が表面から深くまで入り込むため、室温から低温になるまでは基板の特性と良く似た特性を示したが、低温では基板の特性とは異なった不純物散乱の影響が少ない構造を作製することができ、二次元正孔ガスが作製された。

動画像符号化における画像品質の客観的評価

片 山 昌 和

動画像符号化された画像品質に対する人間の視覚特性を考慮した客観的な画質評価尺度 (PQSvideo) を開発した。まず、SD 法と EBU 法による主観評価実験を行い、心理的な画質評価因子と総合画質評価 (MOS) との関係を導いた。次に、画質劣化の物理的要因を数式化し、これと画質評価因子との関係を求めることで、画質の主観評価モデルに従った客観的画質評価尺度を構築した。種々の動画像に対し、MOS との高い相関を有する尺度であることを示した。

降雨・降雪の電荷量の観測と 雷雲の電気的構造に関する研究

加 藤 正

北陸独特の冬季の雷撃に対する予測技術を確立するために、雷雲の産物である降雨・降雪の持つ電荷量の測定を行っている。電荷量と、降水量、水量、データの発現時間などとの関係を調べた。さらに測定を多地点で行うことで、雷雲内の電気的な分布の推定を行った。雷雲モデルによる電気的シミュレーションを行い、雷雲内の電荷の移動がどのように行われたときに、落雷が引き起こされる可能性が高いかを調べた。

目次ページの構造理解に関する研究

唐 木 一 賢

本研究室では汎用性のある文書画像認識システムの作成を行っている。その領域分割処理において、処理対象が目次ページの場合、目次構造ページ特有の構造のために領域分割誤りが生じた。その誤りを修正するために処理対象ページが目次構造ページか否かの判定方法と、目次構造ページである場合の再分割処理について考案した。また、文字行矩形の特徴から目次ページの各行間に存在する章・節・項といった親子関係の認識を行った。

べき乗剰余計算の高速化に関する研究

岸 部 智 昭

現在、公開鍵暗号の代表的存在である RSA 暗号を実現しようとする場合、非常に大きい数を法とするべき乗剰余計算を行う必要があり、この計算には多大な処理時間が必要となる。本論文では、既存のべき乗剰余計算の高速化のためのアルゴリズムの評価・考察と送信者側の負担は増加するが、復号計算のみに限定すれば、非常に高速にべき乗剰余計算を行える方式を提案する。

二相交流磁気誘導浮揚形リニアモータに関する研究

木 下 浩 一

電源に二相交流を使用し、二次導体として幅の異なる二枚の長方形のアルミニウム板を重ね合わせたものをを用いたリニアモータが、安定に浮揚しながら走行するための基本特性の測定を行った。また、二次導体として円盤状のアルミニウム板の中心に軸受けを取り付けたものをを用いた場合の速度特性を測定し、回転機と同じ方法で円線図法により T 形等価回路を用いて特性算定を行い、算定値と実測値の比較、検討を行った。

日本語手書き署名の検証方法の考察

久保和利

現在我が国日本では重要な書類でさえ個人認証を印鑑で行っている。しかし将来日本語手書き署名が必要となってくる。日常署名を行わない日本人の手書きによる署名を、現在ローマ字で行われているアルゴリズムを用いてどれだけの認証率が得られるかを検証し、97%という高認識率が得られた。また、高速認証を行うための署名分類のアルゴリズムについても検証を行った。最後には自動認識システムの可能性についても論じる。

B級プッシュプル増幅器の構成と解析

越野 稔

本研究は、入出力変成器を用いたB級プッシュプル増幅器の周波数特性の理論解析および回路の構成について研究を行なうものである。理論解析に当たり、結合2本線路形変成器と結合3本線路形成器について分布定数論的に考察し、増幅部の等価回路とを合わせて考えることにより、変成器を含めた形での増幅器の周波数特性のシミュレーションを行い、それを基に増幅器を製作し実測値との対応を図った。

光重合ポリマー膜による液晶分子の配向制御に関する研究

坂井 歩

本研究では液晶分子のラビングレス配向を実現するために、直線偏光紫外線を照射して光重合させたポリマーを配向膜とする液晶セルで、ネマチック液晶分子の水平配向制御を行い、その配向特性と電気的特性を明らかにした。さらに光重合開始剤のラジカル生成機構の考察と、モノマーの分子構造シミュレーションの結果からポリマー構造の推定を行い、光重合ポリマー膜による液晶分子の配向メカニズムの提案を行っている。

ニューラルネットワークによる時系列予測

坂本 貴之

リカレント型バックプロパゲーションニューラルネットワークを用いて、時系列予測の一つである積雪深の予測を行った。数日後までの予測値と実測値について、フィードフォワード型のバックプロパゲーションニューラルネットワークにおける結果との比較・検討を行った。その結果、積雪深の増加・減少の推測の精度は良くなったが、実測値と予測値との誤差などは、フィードフォワード型のバックプロパゲーションニューラルネットワークの方が良い結果が得られた。

下オリブ核ニューロンのコンピューターモデルに関する研究

坂本 武志

下オリブ核 (IO) ニューロンは、膜を過分極すると周期的に活動電位を発生する発振特性をもつ。この IO ニューロンのモデルを電圧依存性の Na, K, 高閾値 Ca, 低閾値 Ca チャネルに加え、Ca 依存性の K チャネルを考慮して構成した。その結果、低閾値 Ca チャネルの活性化及び不活性化変数を過分極電位の関数として表現することにより、生理学的に得られた IO ニューロンの発振特性を再現できることが明らかになった。

電荷移動錯体 LB 膜の構造と電気的特性に関する研究

鮫島 令薫

N-docosylpyridinium-TCNQ を用いた LB 膜の構造と電気的特性について評価した。累積数の増加により、膜は Y 型膜から Z 型膜へ移行した。原子間力顕微鏡観察から、Y 型膜の平均高さは 2.3nm であり、累積方向にすじ状の段差が観察された。X 線回析の結果から、Z 型膜は 3.5nm の層間隔であった。電気的特性の評価では、ヨウ素をドーピングすることにより電流値が三桁向上し、導電率に面内異方性があった。

異性体混合反強誘電性液晶の電気・光学的特性に関する研究

島 野 裕

異性体混合反強誘電性液晶の混合比の増加に対する物性定数, 及び電気・光学的特性に関して検討した結果, 以下のことがわかった。1) 自発分極の大きさは減少した。2) 応答時間特性において, 立ち上がり時間は長くなり, 立ち下がり時間は混合比に存在しなかった。3) 三角波, 方形波, 矩形波印加時の反強誘電状態→強誘電状態間電界誘起相転移時のしきい電界は増加した。4) 保持電界特性において, 保持電界幅が広くなり, デバイス設計には有効であることがわかった。

ビタビ復号における不信頼領域の推定に関する研究

鈴木 秀 士

畳込み符号化したデータをビタビ復号器で復号する際, 復号データに信頼性のない領域, すなわち不信頼領域を, ラベル付き双方向復号により推定した。また, 個々のビット毎に信頼度を測定する, Soft-Decision Outputs を二通り作成し, 推定された不信頼領域内の信頼度を測定した。その結果, 推定された不信頼領域は, Soft-Decision Outputs でも信頼性がないことが分かり, ラベル付き双方向復号での不信頼領域推定の妥当性を確認した。

Filamentation Instability of Nonlinear Alfvén Waves in Weakly Ionized Plasmas

鈴木 真 道

弱電離プラズマ中を一様な磁場に沿って伝搬する大振幅アルフェン波の筋状の構造化の成長と不安定性について弱電離プラズマのMHDコードを用いて2次元のシミュレーションにより調べた。線形の領域では磁場に垂直に密度の微小な揺らぎを与え筋状の構造化を調べ, 非線形の領域では筋状の構造が衝突や分裂を繰り返しながら局所的なプラズマ加熱を起こすという結果が得られた。太陽表面で観測される局所的な加熱の過程への応用を議論する。

全文検索システムへの検索支援インターフェースに関する研究

高 田 智 明

既存の全文検索システムの利用を前提とし、利用者の検索要求を反映した検索を行うための支援インターフェースを提案する。自然語の検索式への変換機能と複数検索システムへの同時検索機能を実装し、それぞれコーパスとWWW上の全文検索システムを対象として実験を行った結果、本方式の利用者インターフェースとしての有効性を確認した。

濃霧中における色光の視認特性に関する研究 －富山空港の視界改善を目指して－

高 松 衛

悪天候下という視環境において、我々人間の目の視認特性は著しく変化する。本論文においては悪天候として濃霧を想定し、その視認特性について4人の色覚正常者より比較法にて測定した。実験の結果、黄色系統の色相の視認性が高く、逆に青色系統の色相の視認性は低いという結果が得られた。この事は、悪天候下（濃霧）における道路交通標識や交通信号灯などの視認特性を考える上で、極めて有効な情報といえよう。

有機電界発光素子の電荷注入・伝導機構に関する研究

為 川 貢

陰極として低仕事関数を有する金属を5%含むAl合金を用いた有機電界発光素子の、陰極から有機層への電子注入過程および有機層中の電子伝導機構の検討を行った。印加電圧－電流密度および発光特性はAl合金中の低仕事関数の金属材料に大きく依存した。電子輸送層をAl合金ではさんだ素子の印加電圧－電流特性の検討より、陰極から有機層への電子注入はショットキー放出過程であることを示した。また有機層中の電子伝導機構は、3次元のホッピング伝導と示した。

Si (001) 基板上の Ge アイランドを用いた InSb 薄膜の成長過程

坪 崎 義 徳

InSb は電子デバイスや磁電変換素子への応用が期待される。しかし Si 基板上で InSb 膜を成長させると多結晶成長する。そこで Ge/Si 基板上に InSb 薄膜の成長を試みた。これは格子不整合の緩和と Ge/Si 基板では InSb がヘテロエピタキシャル成長するためである。結論として、Ge 層が 100ML 程度でバッファ層としては十分効果があり、InSb は Ge のアイランドを核にして単結晶成長するが、その成長は縦方向だけでなく横方向にも広がると考えられる。

壁面形状による液晶分子の配列変化とその電気光学的特性に関する研究

戸 田 敦 郎

基板表面に微細形状を形成することにより、壁面形状が液晶分子の配列に及ぼす影響について次の点を明らかにした。シュリーレン組織が観察されレジストエッジ付近に多くの特異点が存在する。電圧印加により特異点からリバースチルト欠陥が発生する。以上の結果から、レジストを用いた壁面形状の形成による配向欠陥、リバースチルト欠陥の発生領域制御法について考察した。また、レジスト形成基板上での液晶分子の配列モデルを示した。

Si (001) 基板上での SrO バッファ層を用いた SrTiO₃ 薄膜の MBE 成長

中 村 卓 矢

酸化物超伝導体を Si 基板上に直接作製すると、界面で化学的な反応が生じてしまいエピタキシャル成長した膜を作製できない。この対策には酸化物超伝導体と同じ構造を持つ SrTiO₃ をバッファ層として用いることが考えられる。しかしながら酸化物膜を Si 基板上に作製する場合、界面において非晶質の SiO₂ 層が形成され、良い膜を作製することが困難になる。そこで、界面制御層として SrO 膜を用いることによって表面性及び結晶性の良い SrTiO₃ 膜を作製するための研究を行った。

ドント・ケアを含む論理関数を NAND ゲート回路で実現する一設計法

羽 根 孝 泰

理論関数が与えられたとき、NAND ゲートのみで理論回路を設計する手法として、筆者の所属する研究室には MA 法がある。筆者はこの MA 法を、BDD (二分決定グラフ) を用いて、より効率的な手法に改善し、かつ、ドント・ケアを含む関数も扱えるよう拡張した。手法を C 言語でプログラム化し、種々の実験を行なった。ドント・ケアを考察することにより、MA 法に対し、入力変数 85%、ゲート数 85%、段数 90% に減少できるなどの有効性を示している。

真空マイクロデバイスに関する基礎研究

林 直 人

真空マイクロデバイスの作製とその応用回路に関する研究を行った。2 μm のスペーサーを用いたナチュラルリソグラフィによるフィールドエミッタの新規作製法を試み、SEM による断面観察から、エミッタの形成を確認した。さらに小さなスペーサーを用いることでサブミクロン程度の極微小なフィールドエミッタ作製の可能性を見出した。回路シミュレーションでは真空マイクロデバイスのモデル化に成功し、インバータ回路で論理振幅とゲインに関する設計指針を得た。また、リング発振器において一段当たりの信号遅延時間 24ns を得た。

自然語テキストにおける事実的知識のデータベースへの自動登録方式の研究

濱 本 聡

計算機可読な情報の増加に伴い、電子化テキストから必要な情報を収集するという要求がある。本研究では自然言語テキストからの知識獲得方式の一環として、ユーザの要求する新製品情報を対象テキストから自動獲得するシステムを作成した。文章の表層的な特徴を用いて知識を抽出し、その知識をリレーショナルデータベースへ登録することで知識の自動獲得を行なう。このとき、メタ知識を用いることで知識抽出の精度を向上させたシステムを実現している。

形式言語の準同型写像による特性化と Dyck リダクションによる特性化

早 川 潤

形式言語理論においては、言語クラスの本質的な違いを明らかにするため、特性化することが重要である。本論文では、これまで別の特性化の手法として扱われ、用いられてきた準同型写像による特性化の手法と Dyck リダクションによる特性化の手法がほぼ等価であり、手法としての違いがないことを示す。また、この結果を応用して、いくつかの特性化定理の別証を与えた。

SrTiO₃ (001) 基板上での MBE 法による Bi₂Sr₂CaCu₂O_x 酸化物超伝導体薄膜の作製

早 瀬 敬

銅酸化物超伝導体が Bednorz と Müller によって発見されたのが1986年、したがって高温超伝導の研究も今年で10年が経過したことになる。高温銅酸化物超伝導体の発見は、この研究分野における飛躍的な発展をもたらした。1997年3月現在における最高の T_c は Hg-Ba-Ca-Cu-O 系の136Kであり、高圧下においては164Kにまで上昇している。本研究では成長時の背圧をパラメータとし、分子線エピタキシー (Molecular Beam Epitaxy : MBE) 装置を用いて Bi 系超伝導体のエピタキシャル成長を行い、T_c=23K の超伝導転移を示す Bi-2212 薄膜が得られた。

非対称形三巻線変成器に関する研究

平 沢 謙 輔

本研究では、非対称三巻線変成器について特性解析を行う。結合三本線路の伝送理論を非対称形に適用し、その動作特性解析するものである。理論計算では互いに独立な三つの伝送姿態を想定して、線路長を考慮した6端子対回路網の基本式を導き、境界条件を与え特性解析を行う。また、小型化が可能なようフェライトコアにエナメル線を密に巻いて回路を試作し実測値との対応も図る。また応用として、分離特性の改善を目的とした補償回路の動作特性も報告する。

SEDD（共有二分決定グラフ）を用いた多出力 NAND ゲート回路の設計法

平 松 徹 也

これまで筆者の所属する研究室で MA 法（論理関数を積和項表現で扱った一出力多段 NAND ゲート回路の設計法）を発表してきたが、本研究では、より関数が扱いやすい BDD（二分決定グラフ）表現を用いて MA 法を実現した。さらには、SBDD（共有二分決定グラフ）表現を用いることにより、各ゲートの出力関数を少ない記憶量で記憶し、多出力回路の設計を行なえるよう拡張した。作成したプログラムで、10変数10出力の回路の設計ができた。

コンピュータグラフィックスによるパッチワーク・イメージ制作

深 尾 和 弘

パッチワークの製作を支援するソフトウェアを作成した。そのソフトウェアは幅広いユーザーに使用できるよう Windows プログラミングに OpenGL を組み込んだ。完成したアプリケーションは約40個のブロックパターンと50パターンの布の組み合わせにより約20万パターンのパッチワーク・キルトのイメージを作ることができる。またこのアプリケーションは OS として WindowsNT を使用しているパソコンであれば機種に関係なく扱うことができる。

3次元ポテンシャル場解析のための無限境界要素

本 田 和 博

境界の一部が無限に広がっている場の問題を取り扱うため、新たな3次元無限境界要素を開発した。無限境界要素として1次元線形要素を用い、従来法のように仮想的な節点を設けない要素として定式化を行った。従って、要素節点を増すことなく対象領域が効率よく解析可能である。また、特異積分の数値計算法についても検討を行った。静電場の問題を解析した結果、無限境界要素をつけない時よりもつけた時の方が精度良く解析できるようになった。

文書画像における領域分割と領域解釈に関する研究

牧 野 隆 雄

文書画像には多種多様な書式が存在するが、これらを全て処理できる文書画像認識システムが理想的である。しかしながら、その実現のためには高度な領域分割処理と領域解釈処理が必要となる。

本研究では、従来のシステムの処理対象をより広範囲なものにし、汎用性のあるシステムを構築するため、領域分割処理、領域解釈処理の双方に新たなアルゴリズムを導入した。また、一般の文書を実際に処理し、その実用性を確認した。

有限要素法による非線形音波伝搬のシミュレーション

牧 野 一 憲

有限振幅音波の伝搬に伴い生ずる非線形現象を数値的に解析する手法の確立を試みた。圧縮性流体の場の支配方程式を空間的に有限要素法を、時間的に差分法を用い直接的に解くことにより、非定常な音波の非線形伝搬の現象についての数値シミュレーションを行った。その結果、有限振幅音波の伝搬に伴い生ずる高調波成分の変化については良い解析精度が得られた。ただ、衝撃波面が形成される場合には数値的な振動が生じる問題点が残されている。

日照条件に依存しない移動物体の検出・追跡に関する研究

巻 本 英 二

単眼の監視カメラを用いゲートを出入りする人数と出入りの方向を認識するシステムを作成した。本システムの特徴は晴天時に発生する影による弊害に対処し、日照条件に依存しない移動物体の検出をしている点である。背景との差分画像から通過人物の頭部の輪郭を抽出し、その領域を仮想的なオブジェクトに対応付け、そのオブジェクトを追跡する。実験の結果、晴天時でも曇天時でも人物がある程度重なっている場合にも正しい観測が可能であった。

電氣的消霧に関する研究

増 田 淳 志

霧の電氣的特性を調べることで、電氣を用いて霧をすばやく消す装置の開発を目的としている。この研究では霧発生器を用いた擬似的な霧を使い、コロナ放電電流とグーディエント力に着目し消霧の効果との関係について調べた。また、実際の霧に近い流動する霧における実験も行い、電極の形状、電圧印加電極と接地電極の配置についても調べた。そこから帯電による霧の遮断現象を見出し、その対処方法について基礎的な実験を行いその有効性を確かめた。

日本語会話テキストの構造解析における研究

松 井 達 則

本研究では「対話理解」の研究の一環として、日本語会話テキストの構造解析をおこなう。また会話の構造解析として文の係り受け関係の推測、指示詞の照応解析を行って、対話理解における構造解析レベルでの問題点を認識し、その解決法を提案とすることを目的とした。そのための実験システムとしてC言語を用いて日本語会話テキストの構造解析システムを作成した。実験の結果、比較的高い精度で会話文テキストの構造解析ができることを確認した。

導電性高分子を用いた有機電界発光素子に関する研究

松 島 英 晃

導電性高分子中にキャリア輸送性を有する低分子を分子状態で分散させた分子分散ポリマー-EL素子の高効率化について検討した。まず、ホール輸送性のポリマー（PVCz）と蛍光色素のC6の単層ポリマー-EL素子に電子輸送材料としてオキサジアゾール誘導体（tBu-PBD）またはチオフェン誘導体（BBOT）をそれぞれ分散することで、低電圧で高輝度が得られることを確認した。また、高効率化に向けて分散させる電子輸送材料として還元電位の低い材料が有効であることを確認した。

生体情報のための多チャンネルコードレスセンサシステムの開発

松 田 兼 治

各種生体情報の長時間無拘束計測のためにセンサからのリード線を省略し、近距離テレメトリを利用したコードレスセンサシステムの開発について検討した。その実現例として、PFM（パルス周波数変調）、PWN（パルス幅変調）の組み合わせによる多重化、搬送波周波数の異なる2つの送受信器を用いPFMを同時に2つ行う多重化により2チャンネルコードレスセンサシステムを試作し、性能評価、実用性の検討を行った。さらにそれらを組み合わせた4チャンネルコードレスセンサシステムへの応用について検討した。

オプティカルフローを用いた移動物体の検出に関する研究

三 宅 一 永

近年、通行人の監視や交通量の調査などの応用のため、背景画像との差分をとることで、ゲートを行き来する歩行者を移動物体として抽出、追跡する研究がなされている。しかし、動画像と背景画像の差分から、移動物体の抽出をするために、良好な背景画像を得る必要があった。本論文では、背景画像を使用しなくとも、移動物体の抽出及び追跡が可能で、移動物体の形を問わない、オプティカルフローによる移動物体の検出、追跡する方法を検討する。

スメクチックA液晶を用いた光制御素子に関する研究

宮 向 謙 彰

スメクチック液晶を用いた光制御素子について検討した。スメクチックA相の $\lambda = 1550\text{nm}$ での複屈折率値0.155を得た。セル厚の最適化を行い、補正回路を挿入することにより、室温動作—長波長帯光変調素子による映像帯域伝送に成功した。また、可視光の斜め入射により旋光子と位相子の両機能を有する変調素子を提案した。セル回転角—規格化透過光強度特性の実験結果は理論値と良い一致を示した。

有限要素法による複合圧電トランスジューサの解析

村 井 信 也

圧電トランスジューサは魚群探知機、ソナーの送受波器として用いられている。送受波器は水中に超音波を効率良く放射しなければならないため、圧電材とエポキシの複合体構造となっている。本論文では、送受波器のモードについて、圧電材、エポキシの成分比について有限要素法解析を行った。この結果、成分比が大きくなると、共振周波数が一定値に近づくことを示した。また、等価な均一材料を想定した場合、等価な材料定数を求めた。

動き物体追跡のための3層動的輪郭モデル

村 田 健 吾

コンピュータビジョンおよび次世代画像符号化の基盤技術となる動画像中の動き物体の輪郭追跡法について検討した。まず、従来の動的輪郭モデルの欠点を改良した、高度な画像情報である局所テクチャ性、局所的な色差を取り入れた3層構造の動的輪郭モデル（3層動的輪郭モデル）を提案し、静止画像に対する有効性を示した。次に、フレーム間の動き情報をこのモデルに取り入れ、動画像中の動き物体（卓球のボール）の形状・動きを正確に抽出できることを示した。

辺要素による空洞共振器の電磁界駆動解析

柳 本 成 哉

3次元の電磁界解析を有限要素法で行う場合、スプリアス解が発生しない手法として、辺要素を用いることが有力である。本論文では、空洞共振器をアンテナ駆動について考察した。アンテナは同軸線から電磁界が供給され、空洞部に完全導体線として延びている。アンテナ線の長さを変化させ、また、供給位置をずらした場合、アンテナ付近の位置に於ける電磁界の周波数特性を求め、モードの励振状態を、また電磁界分布図を求めた。

符号化音声品質の客観的評価法の研究

藪 岡 治 明

現在、音声情報処理の分野では高能率情報圧縮を目指して様々な研究が行われている。本研究では過去から現在まで使われている符号化方式に適用できるような音声品質の評価法を確立するための前段階として、音声波形から計算できる物理量を用いて音声品質を評価する方法について説明し、移動体通信の分野でよく用いられている符号化方式の音声についてこの方法を適用した結果、従来の方法による結果より良い結果が得られた。

コンピュータグラフィックスにおけるラジオシティ法に関する研究

吉 田 剛

コンピュータグラフィックスにおいて、表面の散乱反射や色のにじみ、影の詳細な遮光などを表現することは従来の方法であるレイトレーシング法では、非常に困難であった。しかし近年脚光を浴びてきているラジオシティ法ではそれが容易に行える。本研究は、そのラジオシティ法をより身近なものにするため、その理論を論じ、パソコンの Windows 上でプログラムを作成することを目的としている。

音韻 HMM による連続音声認識システムへの検討

吉 田 祥 明

本論文は、大語彙の不特定話者連続音声認識を目指すものであり、連続 HMM (Hidden Markov Model) を用いて、1. 認識単位をコンテキストに依存した音韻でとらえ、連結学習、分解による学習で、同一音韻の異音化に対応、2. 複数の音韻モデルから、各音韻に適したモデルの構築 (混合音韻モデルの構築)、3. 無音 (雑音) 部分誤認識の変換辞書による無音 (雑音) 区間の検出。の方法による連続音声認識を提案し、このシステムの検証を行った結果、平均10%以上の音韻認識率の向上が見られた。

スパッタ膜の堆積における放電ガス圧力の影響

吉野 保 幸

スパッタ法でモリブデンシリサイド膜を作製し、ターゲットに対して平行に置かれた基板、傾斜した基板およびシリコン上に形成したステップに堆積する膜の組成をアルゴンガス圧力を変えて調べた。膜組成は放電ガス圧力に依存するが、これは圧力が高くなるとスパッタ原子がアルゴン原子と衝突し散乱されるためであると考えられる。そこで、散乱の効果を考慮したシュミレーションを行い、実験結果と比較解析した。

有限要素法による超音波モータの回転子の影響を考慮に入れた基礎的解析

朱 松

近年、圧電アクチュエータとしての超音波モータが注目を集めている。このモータの解析には固定子の定常態解析は多くなされているが、回転子が接触した状態での過渡解析はあまりなされていない。本論文では、これらの解析の基礎的知見を得るために考察を行った。まず、3次元の弾性解析プログラムを用いて、静止状態で回転子を固定子に押しつけた場合、押圧力によってどの程度食い込むかを計算し、動的解析の足がかりを得た。

ユーザインタフェースを用いた環境型教育システム における学習者モデルの構築

銭 燕

あらまし CAIとはコンピュータを用いて人間の学習を支援する教育システムである。本論文では、人工知能や、ヒューマン・インタフェース技術を用いた環境型教育システムをとりあげた。これを実現するためには、ユーザモデルや種々の支援情報を用いることが必要である。本研究は、メンタルモデルの考え方をを用いた環境型教育システムを試みました。

キーワード 環境型教育システム, 学習者モデル, メンタル・モデル

呼吸及びボタン押し運動リズムの位相遷移に対する刺激 並びに運動開始相の影響に関する研究

任 古 城

音あるいは光刺激を合図にした運動開始相が呼吸リズムの位相遷移に及ぼす影響につき、位相反応曲線及び位相遷移曲線を用いて検討した結果、運動が同じであっても合図となる刺激が異なると呼吸位相に対する影響も異なることが判明した。また、音刺激を合図にした運動開始相が周期的ボタン押し運動リズムと呼吸リズムの位相遷移に及ぼす影響を検討した結果、各リズムで位相遷移に違いが生ずることが明らかになった。

〔機械システム工学専攻〕

ワイヤ放電加工のワイヤ温度計測に関する研究

足 立 誠 司

ワイヤ放電加工のワイヤ断線はワイヤの過熱によるものと考えられている。ワイヤ抵抗は温度とともに増加するので、加工中のワイヤの上下間の電圧と放電電流を計測し、これからワイヤ抵抗を算出し、加工中のワイヤ温度の計測を行った。SKD11, SUS304 を加工し、ワイヤ上下から同時に給電した場合と、下方からのみ給電した場合について求めた。温度校正結果と比較すると、最大加工速度におけるワイヤ平均温度は90～100℃程度であることが分かった。

回転円板による ER 流体のレオロジー特性の実験的解明

阿 部 健

本研究では、知能流体に属する ER 流体について取り上げ、実験を行う。すなわち、ER 流体を用いて原動機（可変トルクモーター）を任意の回転数に制御する装置として回転円板制御デバイスを提案し、その基礎データを実験的に調べ、今後 ER 流体応用機器を設計するための特性を明らかにする。具体的な研究の目標としては回転円板の回転数およびそれに作用するトルク特性の実験を行い、電場印加による ER 流体の見掛け粘度特性を求め、その実験式を作成する。

ワイヤ放電加工の加工状態検出方式の検討

阿 部 充

ワイヤ放電加工のワイヤ断線を防止するには断線前駆現象をとらえる必要がある。放電時の放電電圧、放電遅れ時間、電波信号の計測を行い3者を比較した。また上下放電電流から放電位置変化を求めた。断線直前に放電電圧、放電遅れ時間、電波信号とも小さくなり、特に放電電圧の低下がもっとも顕著であることが分かった。さらにこれらの信号を放電位置ごとに分類することにより、その変化をより明確にできること、またこれらの変化が断線箇所において発生していることが確かめられた。

荷重変動推測型制御気体軸受に関する研究

荒井是之

気体軸受は気体の圧縮性のため、軸受の動特性が非常に悪くなる、これを制御的手法によって向上される方法として荷重変動を帰還する方法が非常に有効である。しかし、実機では荷重変動を知ることが困難な場合がある。そこで、荷重変動を軸変位から推測し、これを使って荷重変動の影響をなくする型の制御気体軸受を提案した。周期的荷重変動に対する軸変動特性によって提案軸受を評価した。その結果、荷重変動を直接補償する軸受と同等の特性が得られた。

熱プラズマ流の状態料分布特性計測法に関する研究

嵐敬晶

この研究の最終目標は、円筒周壁（コンストリクター）内部に形成されるアルゴンガス大気圧直流放電熱プラズマ流から周壁へのエネルギー伝達を解明することであるが、そのためにはコンストリクター断面内プラズマ温度分布を知る必要がある。本研究では、トリプルプローブ法および白金抵抗線プローブ法によるプラズマ温度計測を実施し、得られた結果から半径方向の温度分布を推定し、その妥当性の検討を行った。

TiN 被覆処理鋼のフレットィング疲労特性

石倉智子

PVD 法によりセラミックス (TiN) 薄膜を付与した炭素鋼 S35C をとりあげ、フレットィング疲労特性に及ぼす TiN 薄膜の影響を検討した。TiN 被覆処理鋼のフレットィング疲労強度は、TiN 被覆処理を施さない場合のそれに比べある程度の改善が認められた。この疲労強度改善の主な要因は、接触面端部でのフレットィングき裂の発生時期が、TiN 薄膜の存在により TiN 被覆処理を施さない場合のそれに比べ遅延したことによるものである。

遺伝的アルゴリズムを用いたファジィ制御器の設計に関する研究

内 田 隆 信

遺伝的アルゴリズムを用いて、台集合のスケーリングと制御規則を決定してファジィ制御器を自動設計方法を提案する。また遺伝的アルゴリズムにおいて、適応度関数を複数にして段階的に個体群を評価することによって重み付けを必要としない評価方法も提案する。本研究で設計したファジィ制御器を、教師データなしのトラッキングな規範モデル追従制御に適用し、その有効性をシミュレーションによって示す。

微小泳動機械の基礎的研究

漆 畑 彰

本研究は最終的に水中を推進する微小ロボットを作ることを目的としている。液中で推進力を発生させる機構をひれして、水中でひれを動かしたときにひれにかかる抵抗力と速度を測定する実験装置を製作し、この実験装置を用いて基本的な形状のひれについて抵抗力を測定した。また、このひれを駆動させるために、SMAを駆動源にして滑車機構により変位を拡大する駆動機構を考え、その機構が微小機構に適しているか否かを考察した。

メカニカルアロイングによる Al-Fe-Ni-Cr 系粉末合金の製造に関する研究

恵 利 有 司

メカニカルアロイング (MA) により作製した合金粉末は、固溶限の拡大、非平衡相の形成、組織の微細化、酸化物や炭化物の微細分散などの効果を示す。

本研究では、種々の時間の MA を加えた粉末の適切な加工法について検討した。その結果、MA43hr 粉末を、真空 Hot Press 押出し温度673Kで加工した押出し材が、室温では673MPa、573Kでは281MPa の引張強さを示し、MA を加えない場合より1.3~1.4倍の強度を得ることが出来た。

各種表面改質処理を施した β 型チタン合金の疲労強度特性

大河内 一 貴

β 型チタン合金の疲労強度特性に及ぼす表面改質処理の影響を検討するために TiN 被覆、ショットピーニングおよびそれらの複合処理を施した試験片を用いて疲労試験を行った。その結果、被覆処理材及び複合処理材は未処理材の疲労強度より低下した。ショットピーニング処理材では未処理材と同様に表面き裂発生と内部き裂発生が認められ、前者は未処理材の疲労強度と同程度であり、後者は未処理材の疲労強度より著しく低下した。

プラズマ光輝窒化と TiN 被覆の複合表面改質処理を施した高硬度鋼の疲労強度特性

大 谷 利 宏

プラズマ光輝窒化後、TiN 被覆の複合表面改質処理を施した高硬度鋼 SKD61 の疲労強度特性について検討した。複合処理を施した場合、未処理材、窒化処理材ならびに TiN 被覆処理材と比較して最も高い疲労強度を示した。窒化処理材および複合処理材は試験片内部の介在物からのき裂発生であり、内部き裂型破壊でも TiN 被膜が疲労強度向上に有効に作用することを明らかにした。その効果は内部き裂先端で塑性域増大の抑制である。

高減速比等高歯ハイポイドギヤの研究

岡 田 貴 之

高減速比のハイポイドギヤは、ピニオンのねじれ角が大きくなり、その外観はねじ状となる。そのため、一般のねじと同様に、歯の形を等高歯として扱えば、その取り扱いが便利になると考えられる。等高歯にした場合は、マシンセッティングが単純化され、ピニオンのデュプレックス歯切りが可能となる。本研究は、高減速比等高歯ハイポイドギヤに関して、ピッチ面の正しい表示法と、ギヤ歯切りの単純化及びピニオンとギヤのカッタ圧力角の関係について明らかにした。

固体中を伝搬する圧力波の分子動力学的研究

越 智 高 士

2次元の分子動力学法を用い、固体中を伝搬する圧力波を原子・分子の運動から解析した。圧縮シミュレーション、一様引張りを受ける薄膜の縦弾性係数、固体の圧力・密度・比熱の3方法から得られる圧力波の伝搬速度はほとんど一致し、体積弾性率の実験結果から得られる伝搬速度と同じオーダーになること、圧力波の伝搬速度は温度の上昇とともに減少することを示した。2次元の分子動力学法を用いれば、圧力波の伝搬に関する定性的な知見が得られることがわかった。

液体支持膜面を用いた進行波型フィードの基礎的研究

恩 田 慎 也

本研究は、液面で支持された膜面を波動面として用いて、そこに搬送能力のある進行波を発生させて、その波動により従来の方法ではハンドリングや搬送が困難な微細、あるいは薄い物体、さらには軟粘体などをフィードすることの可能なフィードの開発を目的としている。膜にかかる張力が小さく、またアクチュエータの駆動振動数が大きい方が波動面上に発生する進行波の波長が短くなることを明らかにし、波動面上に5mm程度の波長の進行波を発生させた。

2024Al-3Fe-5Ni 系粉末成形合金の加工熱処理に関する研究

北 野 亮 一

アルミニウム合金の加工熱処理法 (Thermomechanical Treatment, TMT) は、塑性加工と時効析出の組み合わせ処理を行い、その重畳効果によって強化促進するものである。

本研究においては Al₉FeNi 化合物粒子の微細分散による約473Kまでの耐熱性向上をすでに確かめた、2024Al-3Fe-5Ni 合金の時効硬化特性に及ぼす加工熱処理の影響を検討した。その結果、適切な条件での温間圧延後、T6 処理を加えることにより、機械的性質を著しく向上させることが可能となった。

ねじり負荷を受ける超微小要素の応力に関する分子動力学的研究

木村 秀紀

面心立方構造の超微小要素がねじり負荷を受けるとき、その要素に生ずる応力を分子動力学的手法を用いて解析した。応力は応力を定義する領域内の粒子数に依存し、粒子数が少ないとき、弾性学における応力と著しく異なることがわかった。また、分子動力学法で得られるねじり軸方向の変位は弾性学における変位と定性的に一致すること、超微小要素を構成する粒子の速度、運動する範囲、および粒子に作用する力は、ねじり負荷の大きさに依存しないことがわかった。

改良 9Cr-1Mo 鋼厚肉鍛造材の高温低サイクル疲労強度に及ぼす切欠きおよび時効の影響

小島 明弘

改良 9Cr-1Mo 鋼厚肉鍛造材の高温低サイクル疲労寿命に及ぼす切欠きの影響および時効の影響を検討するため非時効材および3000時間の時効処理を施した平滑試験片および環状切欠き試験片を用いて 873K、大気中において荷重制御のもとで低サイクル疲労試験を行った。その結果、平滑および切欠き材の引張保持と圧縮保持の疲労寿命は三角波のそれと比較して低下し、低下の度合は平滑材と比べて切欠き材の方が小さかった。また、切欠き材の破損寿命には熱時効による低下が認められた。

クラスタの衝突におけるエネルギー変換機構

小島 聡

クラスタの衝突過程におけるエネルギー変換機構を明らかにするために、2次元分子動力学法による衝突シミュレーションを行った。クラスタは7粒子の六角形形状であり、質量中心に関する回転運動を行わないものと仮定した。また衝突は両クラスタの質量中心線上で起こるものとした。そして、衝突速度と衝突後のクラスタサイズの関係、すなわち、クラスタの凝集・分裂、変換されるエネルギーと変換割合、エネルギーの変換開始・終了順位を明らかにした。

メカニカルアロイングによる 2024Al-Fe-Ni 系超微細結晶粒材料の作製と その機械的性質に関する研究

近 藤 琢 年

Al₃FeNi 化合物粒子の微細分散により 473K 付近での強度が向上することがすでに確認されている急冷凝固 2024Al-3Fe-5Ni 合金粉末に MA を付加することにより、超微細結晶粒材料を作製し、低温（室温～473K）における強度特性及び高温（723K～773K）における高速超塑性特性に与える MA の影響を検討した。その結果、MA 時間の増大に伴い圧粉体のマイクロ組織は均一微細化の傾向にあり、低温における機械的性質は著しく向上した。また、適切な予加工を付加することにより長時間 MA（43hr）で高速超塑性を示した。

冷間鍛造用新アルミニウム合金の腐食疲労強度特性

椎 原 克 典

鍛造性の向上を目的に A6151 に Cu を増量添加させた新アルミニウム合金 A6151M の腐食疲労試験を行い、腐食疲労強度に及ぼす冷間鍛造比および時効時間の影響を従来材（A6151, A6110）と比較し検討した。A6151M の腐食環境下でのき裂発生は粒界割れによるものであり、疲労強度は大気中のそれに比べて大きく低下した。また、A6151M の鍛造材は時効時間を長くすることによって腐食疲労強度を改善できる。

オーステナイトステンレス鋼の断続切削における工具摩耗に関する研究

白 山 浩 之

難消材として知られるオーステナイト系ステンレス鋼の SUS304 を K20, M10, P20 の各工具を用いて断続切削し、疲削性に及ぼす切削条件の影響を検討した。その結果、本合金の断続切削に適した工具は P20 工具であった。また、切削速度が早くなるにつれ鋸刃状切り屑が小さくなり、それにつれて切削抵抗も低下し、その周期的変動量は減少し、切り屑の排出状況が滑らかになるため工具寿命距離は長くなることが知られた。

耐摩耗性鑄造鋼合金の加熱切削特性に関する研究

杉山 裕 亮

銅に亜鉛，アルミニウム，鉄，シリコンおよびジルコニウムを添加した特殊鑄造銅合金は，高温において引張強さおよび硬さが著しく低下し，伸びが大きくなる機械的性質を持っている。本研究ではこの点に着目し，この合金を各種条件で常温および加熱切削したときの切削特性におよぼす加熱温度の影響を比較検討した。その結果，工具摩耗や切屑排出性などの観点から送りを大きくし，適温で加熱切削すると作業性が改善されることが知られた。

窒化珪素の繰返し疲労下の微小表面き裂進展特性 (き裂寸法と応力比の影響)

墨 徹 也

窒化珪素セラミックスを供試材として，微小表面き裂進展特性に及ぼすき裂寸法と応力比の影響を明らかにすることを目的として， $50\sim 100\mu\text{m}$ ， $150\sim 500\mu\text{m}$ の微小表面き裂，そして貫通き裂の進展特性を調査し，さらにき裂形態に及ぼす応力比の影響についても検討を加えた。その結果，微小表面き裂では貫通き裂に比較して進展速度が加速しており，これは水分の影響が強く働くためと思われる。

摩擦熱を伴う転がり接触による表面き裂の屈折進展特性

土 田 祐 知

実際には表面き裂が分岐屈折して各種トライボロジー損傷に至ることが多く，さらに実際の転がりすべり接触では摩擦熱が生じるものと考えられる。そこで本研究では，摩擦熱を伴う転がり接触を受ける半無限体の表面屈折き裂について，応力拡大係数を解析しエネルギー開放率を求め，すべり率や摩擦係数・内圧等の分岐角度に及ぼす影響を数値的に検討した。さらに，き裂進展則を用いて疲労寿命を数値的に推定し熱的効果等が結果に及ぼす影響を調べた。

高クロム鋼の砥石切断性に及ぼす熱処理の影響

常 森 保 志

高クロム鋼の砥石切断性に及ぼす熱処理の影響について検討することを目的とし、4種類の鋼種についてそれぞれ3種類の熱処理を施した計12種類の被削材に対し、砥石切断機を用いて、湿式切断を行った。その結果、高硬度の焼入焼戻材の切断抵抗が最も高い値を示した。また、切断抵抗の高い高硬度の焼入焼戻材の研削比が最も小さい値を示した。熱処理の違いが表面あらさに及ぼす影響はほとんどみられなかった。

ニューロコントローラ的设计とその応用に関する研究

中 川 誠

近年、ニューラルネットワークは、その実用性が注目されるようになってから、研究が盛んに行われている。本論文は、ニューラルネットワークを用いた適応型の制御方式を微小衝撃加工機械の制御に適用しようとするものである。また、制御性能に影響を及ぼす学習の安定性の問題に対する対策として、制御器の入力情報のスケールリングおよび交換を行う設計手法の提案を行い、数値シミュレーションによって、有効性の検討を行った。

アルミナセラミックスのクリープフィード研削性に関する研究

中 村 泰 朗

アルミナ含有量の違いが、ダイヤモンド砥石を用いたクリープフィード研削性に与える影響を検討することを目的とし、含有量の異なる3種類のアルミナセラミックスを実験材料として選び、研削速度、砥石切入量、テーブル送り速度を変化させて実験を行った。さらに、研削除去率を一定として通常研削領域からクリープフィード研削領域へと研削条件を遷移させて実験を行い、研削様式の違いが研削性に与える影響を比較検討した。

ポートホールダイによる矩形押し出しシリンダーの 寸法精度の向上に関する研究

永尾 誠一

ポートホールダイによるシリンダー製品等の押し出しにおいては、工具の設計が不可欠であり、なかでもダイスの設計が最も重要である。これらは経験則に基づいた試行錯誤の繰り返しで、定性的な報告がほとんどである。そこで本研究では、肉厚差の大きい矩形シリンダーの押し出しにおけるポートホールダイ雄型のポート孔形状が、製品の寸法精度（特に中空部の真円度）や圧着接合強度に及ぼす影響をチャンバー内のメタルフローを対応させ、寸法精度の向上について考察・検討を行った。

牛緻密骨の疲労寿命と応力繰返し速度の関係に及ぼす応力比の影響

永森 治

牛大腿骨の緻密質を用いて種々の条件下で疲労試験を行い、疲労寿命に及ぼす応力繰返し速度の影響を調査し、これらの関係に及ぼす応力比の影響を明確にした。また、実験的な知見を踏まえて牛緻密骨をオステオンを素単位とした梁構造物としてモデル化し、牛緻密骨の疲労破壊特性のシミュレーションを行った。そして、疲労寿命と応力繰返し速度の関係並びにこれらの関係に及ぼす応力比の影響を理論的に導き、実験結果と比較検討した。

骨セメントの疲労特性並びに骨セメントと海綿骨の接合強度に関する研究

奈良 哲郎

骨セメント CMW-3 並びに ZIMMER 製骨セメントを用いて疲労試験を行い、それらの疲労特性を明確にするとともに、条件を変えて接合した牛海綿骨と骨セメントの接合材を用いて静的曲げ試験及び疲労試験を行い、それらの特性を調査した。その結果、接合時に大きな加圧を行い、海綿骨の接合面を洗浄することにより接合強度が高まった。また、疲労特性が優れた CMW-3 を用いた接合材の方が ZIMMER を用いたものより優れた接合強度が得られた。

摩擦熱を伴う転がり接触による被覆材界面き裂の応力拡大係数

西野 武志

被覆材の界面にき裂を有する被覆半無限弾性体が、摩擦熱を伴う転がりすべり接触を受けるトライボロジ問題を破壊力学的に取り扱い、き裂進展を定量的に評価するパラメータとしてき裂先端の応力拡大係数を求めることを目的とした。そして各種のトライボロジ被覆材料の場合について応力拡大係数を数値的に明らかにし、摩擦係数やすべり率、被覆層厚さやき裂長さおよび被覆材料の物性値などが応力拡大係数に及ぼす影響を数値的に検討した。

UHMWPE の摩擦摩耗特性に関する研究

花谷 智則

UHMWPE 使用人工関節の寿命を高める観点から、本材料の摩擦摩耗の特性をピンオンディスク型摩擦試験機によって調べ、表面評価は金属顕微鏡によって行った。フラット面は本材料とし、他方はステンレス鋼球を使用している。実験は関節液成分のヒアルロン酸、グロブリン、アルブミンを潤滑液とし、人間の膝関節、股関節の歩行時の荷重、速度条件で行った。その結果、ヒアルロン酸は両条件で同じ摩擦摩耗特性を示し、最も安定な性質を示した。

ペントループ振動子による波動フィーダの基礎的研究

堀田 秀和

本研究は、進行波型フィーダの波動面を有限個に分割して、各々を独立にだ円振動する振動子とすることで、現有の進行波型フィーダでは不可能であっただ円振動の形状・傾き・回転方向を独立に制御可能とし、さらに並べた振動子の振動位相の制御により、進行波の形状および進行方向を任意に設定することで、輸送の速度・方向を自由に变化できる新方式のフィーダの開発を目的としている。各振動子が独立しているため、進行波の波形を任意に設定することも可能である。

定電流法による小口径管内気液二相流の ボイド計測に及ぼす流動形態の影響

松川 誠 治

小口径管内気液二相流のボイド率計測に、従来の定電流法をそのまま適用すると、流動形態によっては正しい計測ができないことがわかった。そこで、本研究では管内径が3 mmのテストセクションに、簡単な形状の気泡モデルが流動する際の計測誤差を、計算によって求めて検証した。また、実際の装置で定電流法と急速閉め切り法によるボイド率計測を行い、計算による検証結果を用いて、定電流ボイド計測値を補正し、両者の値を比較検討した。

複数の適応度を持つ遺伝的アルゴリズムを用いたPID制御器の設計と その応用に関する研究

松崎 英 世

GAを用いて複数の目的があるような問題を評価する場合などは、多くの重みや関数によって評価関数が記述されることになる。しかし、このような重みや関数は簡単に決定できないことが多い。このため、評価関数は設計者の経験と勘によって作られてしまった。しかし、このような評価関数は、一般の人には理解しにくく、その設定も非常に難しかった。本研究では、GAを用いて容易に多目的制御のための制御則を構築できるようにする。

SCM435鋼の疲労強度特性に及ぼす表面改質処理の影響

宮下 直 道

材料の表面改質方法としてショットピーニングおよびTiN被覆に注目し、SCM435鋼を用いて疲労強度特性に及ぼす表面改質処理の影響について検討した。実験ではショットピーニングのみ施したショット処理材およびその材料にさらにTiN被覆を施した複合処理材を用意し、回転曲げ疲労試験を行い疲労強度評価をした。各種表面処理材はショットピーニングにより生じた表面荒れや割れの影響を受けるため十分な疲労強度向上は得られなかった。

熱処理した各種クロム鋼の切削における工具摩耗特性に関する研究

村 井 敏 幸

各種高クロム鋼の被削性に及ぼす被削材の化学成分や熱処理，および工具材種の影響について検討することを目的とし，4種類の鋼種についてそれぞれ3種類の熱処理を施した計12種類の被削材の外周丸削りを乾式で行った。その結果としては，工具寿命距離は，被削材硬度や合金中のCr含有量に依存することがわかった。また，工具材種の影響において，低硬度材の切削にはM10工具，高硬度材の切削にはCBN工具が適していることが知られた。

VR形機関の起振モーメントの研究

山 根 俊 和

VR形機関は直列形機関の長所を取り入れて，バンク角を狭角にしたV形機関の一種である。本研究では，VR形機関の成立条件とバンク角をパラメータとした振動学的な評価を行った。具体的には，気筒数が4気筒から10気筒機関の場合について発生する起振モーメントを明らかにし，VR形構造の成立の可能性とバンク角の実用的限界値を導いた。さらに，バランスによる起振モーメントの削減方法について検討を加え，その効果についても明らかにした。

スタaggerド配列フィン付管群の渦発生特性 －フィン形状と流路幅の影響－

山 本 高 義

フィン付管群から放出される渦とダクト内の気柱振動数とが一致することによって，騒音が生じる場合がある。この騒音を防ぐためには，管群から放出される渦の発生特性を知る必要がある。そこで，本研究においては，スタaggerド配列フィン付管群を対象として，渦の発生特性に対する，管群の配置形状の影響，使用するフィン付管のフィン形状の影響，及び流路幅の影響を調査すると共に，管群の圧力損失についても，フィン形状の影響を調査した。

ハイポイドギヤの精密段取りに関する研究

米 林 順 也

ハイポイドギヤの創成は、歯すじと歯形を考慮した曲面としての創成法に優るものは考えられていない。したがって、第三の歯車である相当冠歯車による歯切り方式が有力なものとなっている。この方法では、特に第三の歯車を歯切り盤上に正しく構成する必要がある。その構成の内容は、主としてカッタのセッチング（段取り）によって決まる。そこで本論文で、ギヤを成形歯切りし、ピニオンを創成歯切りするために必要なカッタの正確な位置や運動について厳密に解析する。

放電被覆処理による押し出しダイスの表面改質と 性能評価に関する基礎研究

論 貴 子

放電被覆処理によるダイスベアリングの表面改質を試み、押し出し金型への適用性を検討した。その結果、放電被覆処理を施したものは難加工材の押し出しに対する耐摩耗性はよく、押し出しに際してアルミがベアリング面に厚膜付着となり、押し出し材性状は被覆を施していないものと同等なものが得られた。また放電被覆によりテアリングの発生が抑制され、同温度で押し出しても押し出し速度を速くすることができ、押し出しの加工限界は向上した。

高クロム鋼の穴明け加工性に関する研究

王 健 鉄

難削材として知られる各種の高クロム鋼の穴明け加工性に及ぼす工具形状、および加工条件の影響について検討することを目的として、コバルト系高速度鋼ドリルにTiNコーティングしたストレートドリルを用いて、6種類の高クロム鋼の穴明け加工を行った。その結果、被削材の種類によって適切な加工条件およびドリル先端角があることを明らかにした。

オブザーバを使った非対称油圧ピストン駆動系に関する研究

孔 祥 冰

非対称油圧ピストンを駆動する場合、受圧面積の差によって左右非対称速度となる。また、非対称速度は負荷の変動の影響を受けやすい。そこで、非対称ピストンによって生ずる左右の非対称駆動力を一種の外乱と見なし、これをオブザーバによって推測し、不平衡力を補償することによって左右対称な出力速度を得る方法を提案し、解析を行った。また、オブザーバを電子回路によって製作し、油圧駆動装置に装着して実験を行い解析の妥当性を確かめた。

[物質工学専攻]

機能性修飾物質による分子認識法に関する研究

青山 洋士

分子認識する機能性物質を用い、1. 修飾電極によるジアステレオマー分離に関する研究 2. 機能性薄膜によるテルペン類センサーの開発についてそれぞれ検討した。修飾電極による異性体の分離は目的生成物がほとんど生成しなかったため検討できなかった。なおセンサーでは機能性薄膜をLB法で付与したほうがスピニング法に比べ分子レベルで平に付与できることから分子吸着面積が大きくなり感度を良くすることができた。

2 成分溶媒を含む高分子溶液の乾燥機構

池上 博志

高分子溶液の塗布・乾燥による薄膜製造プロセスでは、乾燥による溶媒の移動機構の把握が製品の品質向上や高機能化において重要である。本研究では2成分溶媒を含む高分子溶液（トルエン-エチルベンゼン-ポリスチレン系溶液）の乾燥特性を把握する目的で実験的検討を行った。また、物質移動モデルを用い気液平衡関係と合わせて数値計算を行い、このモデルの本実験系への適用性を調べるとともに、乾燥特性について解析的検討を行った。

1-2-3 系酸化物超伝導体の混合状態における 電気抵抗と熱電能の温度依存性

江上 武宏

将来、実用化が期待される酸化超伝導体において混合状態の解明は非常に重要な研究課題である。本研究では、酸化物超伝導体において電気抵抗率の測定では電流による磁束フローを、熱電能測定では熱流による磁束フローを測定することで、固相反応により作製した4種類の1-2-3系酸化物超伝導体 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ($\text{R}=\text{Sm}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Eu}_{0.9}\text{Pr}_{0.1}$) の混合状態の考察及び解析を行った。

液体超急冷した過共晶 Al-Si 合金の組織と機械的性質

大 橋 一 善

本研究では、単ロール超急冷凝固法で作製した、Al-(12~30)% Si 合金のリボン状試料の微細組織に及ぼす Si 量とロール回転数（冷却速度に対応）の影響を調べ、硬さ測定及び引張試験を行った。その結果、試料は10°K/s オーダーで冷却され、ロール面側と自由面側では異なる微細な2層組織が得られた。ロール面側の層の硬さは、ロール回転数が増してもその層の厚さは一定であるが、硬度は増すことが分かった。

ホウ素炭化物 $\text{Ho}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ni}_2\text{B}_2\text{C}$ の超伝導と磁性

大 上 卓 男

ホウ素炭化物超伝導体の物性を定性的に評価するために $\text{Ho}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Ni}_2\text{B}_2\text{C}$ の比抵抗測定、 $\text{HoNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の比熱測定、及び $\text{NdNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の磁化測定と帯磁率測定を行った。比抵抗の測定結果において、 $\text{NdNi}_2\text{B}_2\text{C}$ が超伝導性を示さないことと、その両端の組成で現れた磁気転移と超伝導転移は中央の組成で完全に消失する事を確認した。帯磁率測定の結果から $\text{NdNi}_2\text{B}_2\text{C}$ が5.03K で反強磁性転移を持つことを確認し、また比熱の測定から集中して存在する3つの磁気転移を評価した。

1, 1-エチレン-1*H*-アズレニウムイオンの合成研究

梶 岡 孝 則

1, 1-エチレン-1*H*-アズレニウムイオンの合成を行い、低温NMR測定によってその生成を確認した。カチオンは熱的に不安定で0°Cにおいて徐々に分解し、求核剤との反応では三員環上で反応した生成物のみが得られた。また、6-*tert*-ブチル及び5-イソピロピル-3, 8-ジメチル置換体についても合成を行ったところ、いずれの化合物も母体化合物に比べ安定であり、特に後者は黄色結晶として単離できた。

STMによるアルミニウム基合金の粒界近傍の優先変形挙動の観察

片山 暢

現在アルミサッシに使用されている Al-Mg-Si 合金は強度を高めれば高めるほど延性が低くなっていき最高強度では変形を与えると突然割れるという欠点がある。この原因であるフォールドと呼ばれる起伏にそのカギがあるが、ミクロの世界の立体像が分かる走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて強度が上がり延性が低くなる途中の段階で発生するその立体形状を明らかにすることに成功した。この機構がさらに解明されれば自動車部品等への応用が期待される。

ホウ素-窒素結合を有するベンゾボレピン類の合成研究

鎌田 義隆

ホウ素-窒素結合を有する 3-(1-ピロリル)-3-ベンゾボレピンの合成を行い、各種 NMR の測定によりその生成を確認した。また、この化合物においては、ホウ素-窒素間の二重結合性が期待され、この化合物の NMR スペクトルの考察より、ある程度の二重結合性を有することを確認した。この二重結合性は、この化合物が不安定であることから、化学的な安定化に寄与していないと考えられる。

シクロヘプタ [a] シクロペンタ [gh] フェナレン-5, 10-ジオンの 合成と性質に関する研究

北川 哲也

アセナフテンから10段階を経てシクロヘプタ [a] シクロペンタ [gh] フェナレン-5, 10-ジオンの 1, 2 位にジクロロ置換した化合物の合成と単離に成功した。

この化合物の物理的、化学的性質について比較検討を行ったところ中性種は五員環部の孤立した極限構造式の寄与の大きな安定化合物であり、またジカチオン種では芳香族性を示す構造と反芳香族性を示す構造の双方の寄与のある電子状態をとっていると考えられる。

フェナレン核を含む縮合多環化合物の合成

金城 幸治

近年、様々の完全共役カルボニル化合物が合成され、その性質についても解明されている。その中でもベンゼン系の三環性化合物であるフェナレンを核にもつフェナレノン分極及びプロトン付加により安定化するのとは勿論、更に特異的にカチオン種、ラジカル種においても安定化する性質をもっている。しかし合成の例が少なく性質についても未知な点が多く、そこで今回フェナレン核を含む縮合多環化合物の合成を計画し性質について調べた。

Al-Al₃Ni 共晶系合金および Ni₃Al 金属間化合物の電気化学的特性

小村 一成

本研究は、機能性材料としての利用が期待されている Al 基共晶系合金や複合体強化合金材料の腐食特性の解明に関する基礎研究の一環として、Al-Al₃Ni 共晶系合金および Ni₃Al 金属間化合物の電気化学的特性について検討した。Al-Al₃Ni 共晶系合金のアノード溶解の主過程は Al(α) + Al₃Ni(β) 共晶組織からの Al(α) 固溶体の優先溶解であり、Ni 成分はほとんど溶出しない。また、Ni₃Al 電極の活性領域における腐食形態は Ni 電極同様に全面腐食である。

Al-Ti-Zr 系混合粉末のメカニカルアロイング

坂田 裕司

Al-12at%Ti-X 3 元系 (X=Fe, Cr, Ni) の MA でアモルファス化が起こる。アモルファス化の重要な因子に格子定数の大きな変化が考えられる。Fe, Cr, Ni は、いずれも Al 中に固溶すると α -Al の格子定数を大きく減少させる。本研究では、まず液体超急冷法で作製した Al-(0.1~1.5)at%Zr 試料につき、Zr 濃度と格子定数の関係を調べ、つぎに Al-(3~15)at%Zr 2 元素及び Al-12at%Ti-(3~15)at%Zr 3 元系混合粉末の MA 過程とアモルファス化を調べた。Al 中に Zr が固溶すると格子定数は増大する。また 2 元系、3 元系の MA 過程では化合物 Al_{9.88}Zr_{0.17} 及び AlZr₃ が生成し、アモルファス化は起こらない。

電子ビーム融解法で Cu および Ni を注入し改質した Al-Mg 合金の機能性の評価に関する研究

坂 本 佳 紀

本研究は、Al-Mg 合金の機能性強化の方法として電子ビーム融解法を用いて Cu および Ni を注入し改質した Al-Mg 合金の機能性の評価を行った。Cu を注入した場合の組織は Al_2Cu 金属間化合物が網目上に晶出し、機械的強度は大幅に増大するが、耐食性は劣化する。Ni を注入した場合の組織は、 Al_3Ni 金属間化合物の針状結晶および $Al_3Ni_2 + Al_3Ni$ の包晶組織が観察され、機械的強度は増大するが脆くなり、耐食性に関しては若干劣化する。

アミン系抽出剤によるチオシアン酸アンモニウム水溶液からの $Ag(I)$ の抽出

十文字 慎

本研究はアミン系抽出剤による、チオシアン酸水溶液からの銀の抽出の検討を行い、抽出種の組成やみかけの平衡定数の決定を行った。銀の抽出はチオシアン酸の抽出とアミンチオシアン酸塩による銀の抽出の二段階にわけて、各々の平衡定数から、その抽出挙動をシミュレートすることが可能であることを確認した。Primene JMT の場合、チオシアン酸水溶液からの銀の抽出平衡種の組成は $Ag(SCN)_3^{2-}$ であり、平衡定数は $\log K_{ex} = 20.0$ である。TOA の場合、各々 $Ag(SCN)_3^{2-}$, $\log K_{ex} = 17.4$ である。

Cu (II) アンミン水溶液からの均一球形酸化物微粒子の作製

高 松 威 夫

本研究は、Cu (II) アンミン水溶液から錯イオンの高温加水分解による球状酸化物微粒子の生成とサイズ制御の可能性さらに高温加水分解反応の機作について検討した。球状酸化物微粒子の生成は、静置換条件下で NH_4^+ イオンが存在する必要がある、さらに球状酸化物微粒子のサイズ制御は、Cu (II) アンミン水溶液の組成および熟成時間を調整することにより可能であることを明らかにした。また晶析速度の増加は、得られる球状酸化物微粒子のサイズを小さくする。これは、晶析の核生成速度の増加によることを明らかにした。

発生ガス分析用感湿素子に関する研究

玉 置 忠 之

主に低湿度域（～20%RH）での測定を前提に、比較的高温まで測定可能で、水分にのみ応答する素子を作製し、発生ガス分析法に応用する目的で研究を行った。作製した感湿素子は、再現性が良く、温度依存性、経時変化が見られるが、水分以外のガスの影響は全く受けなかった。

また、実際に発生ガス分析装置に組み込み、Fe-Mn 酸化物の C, H₂還元過程の測定に用いられたところ、H₂還元による水分の発生が直接測定できた。

低熱膨張性超合金 Incoloy909 における応力加速粒界酸化

辻 野 博 昭

Incoloy909 は低熱膨張性耐熱合金であるが応力付加環境下で使用する際に応力加速粒界酸化 (SAGBO) 脆性を引き起こすとされている。本合金を1100～1300K, 0～29.4MPaの引張応力下で高温酸化したところ、酸化スケールは粒界スケール、粒内スケールおよび外部スケールから成り、成長速度はいずれも放物線則に従った。1200K, 1300Kでは無負荷よりも引張応力下で粒界スケールの成長が促進された。SAGBOを実験的に確認した。

Ln (希土類 ; Tb, Pr, Ce, Eu) - Cu - O 系複合酸化物に関する研究

堤 義 弘

X線回折による結果、Tb₂O₃-CuO-Cu₂O領域においてTb₂Cu₂O₅は存在するが他の複合酸化物は存在せずこの領域は4相共存である。同様の分析の結果、CeO₂とCuO, Cu₂O間に複合酸化物は存在しない。電気伝導度測定より (Tb, Pr, Eu)-Cu-O複合酸化物の活性化エネルギーを求めた。酸素濃炎電池電極材として Tb₄O₇, Tb₂CuO₅を用いた結果、Tb₄O₇は多孔性Ptよりよい精度と耐久性を持つ。

複合微細造粒粒子の連続生成と複合形態 — 粉碎を伴う円錐型転動造粒法による —

都 竹 聡

単一回転円錐型容器を用いた造粒と粉（解）砕と分粒との同時操作により、 CaCO_3 及び SiC 粉末を原料とする二成分複合微細造粒粒子の連続生成の可能性を実験的に確かめると同時に、得られた複合造粒粒子径とそれに含まれている SiC 凝集体の粒子径との関係をもとに、造粒粒子の複合形態を評価することを試みた。その結果、複合形態は3つのモデルに大別でき、それらは造粒粒子径と造粒粒子中の SiC 濃度に依存することを得た。

粒子分散型アルミニウム合金基複合材料の時効析出挙動

寺 木 武 志

金属の強度向上の手段として第二相粒子の複合化が考えられるが、更なる強度向上を目的として母相に時効硬化型の Al 合金を、第二相粒子としてセラミックス粒子を用いた粒子分散型 Al 合金基複合材料が考えられる。本研究ではセラミックス粒子を用いて複合材料を作製した結果、すばらしい機械的特性を持つ材料の開発に成功した。また TEM による高分解能観察の結果、今まで誰も解明できなかった時効析出過程も明らかにした。

傘型回転振動円板による異形微細粒子群の連続分離特性

遠 山 正 和

本研究室で試作した乾式の回転振動円板型形状分離装置を用い、異形微細粒子群の連続形状分離に及ぼす各種操作条件の影響を種々の処理量のもとで検討した結果、(1) 分離効率は球状粒子の転落を妨害する非球状粒子の配列個数、粒子径、円板回転速度、円板表面傾斜角の各要因に依存することを重回帰分析により明らかにし、本装置においては水平円板よりも傘型円板の使用が有効である等、最適条件に関する知見を得た。(2) 非球状粒子の配列個数を支配する粒子移動速度について理論的、実験的に考察を試みた。

2層系二重拡散対流の層境界における熱、物質、運動量の移動現象

外山 和宏

2層の安定な垂直濃度勾配に水平温度勾配を与えた時発生する二重拡散対流を対象に、特に層境界に注目したトレーサーによる可視化実験と溶液注出法による局所濃度測定実験を行った。その結果より、二重拡散層境界面の形成から崩壊までの複雑な形態変化の詳細とそれに伴う層間溶質移動の巨視的メカニズムについて説明する。また、上下層間の物質移動は対流の強さを決定する加熱冷却条件に依存していることを明らかにした。

超合金 Refractaloy26 の時効組織と性質

土井 崇

Ni基耐熱合金は、L1₂型の結晶構造を有する γ' 相で強化されることが多い。 γ' 相は析出初期は球状であり、時効時間の経過に伴い立方体状へ移行する。

本研究では、析出強化相が γ' 相であるRefractaloy26合金の時効硬化と透過型電子顕微鏡観察による γ' 相の形態変化また母相 γ および γ' 相の格子定数ならびに γ'/γ 格子ミスマッチと形態変化との相関について、893K~1123Kの時効温度で最大720ksの時効材にわたり詳しく調査した。

MAC法による二重拡散対流の数値解析

中島 栄次

二層に濃度成層した流体を左右から加熱冷却した場合に発生する二重拡散対流の数値解析を行った。MAC法を用いた計算結果と実験結果との比較より、対流開始からセル対流形成までの段階において定性的な一致が得られた。また空間分割の精度を向上させた計算を行った結果、特に濃度場の乱れが減少し安定な解が得られるようになった。このことから二重拡散対流の解析においては濃度場の発達をいかに正確に解くかが重要であることが分かった。

Ag-Fe系における磁気抵抗効果

永田 純一

常磁性金属のバルク中に強磁性金属微粒子が多数存在するような試料に、数 kOe の外部磁場を加えると電気抵抗が大きく減少する。これは磁気抵抗効果 (MR効果) と呼ばれ、近年大きな注目を集めている。本研究では、常磁性金属に Ag, 強磁性金属に Fe, Co, Ni を用い、高周波スパッタリング装置を用いて試料を作成した。作成した試料について、強磁性金属濃度とアニール時間による MR 効果の変化を測定した。

過冷却溶液からの結晶成長に伴う液相内の移動現象

中村 清経

本研究では矩形容器に満たされた飽和溶液を側方冷却して過飽和状態をつくり、既存結晶が成長するときの対流挙動と結晶成長の関係について実験的に及び数値的に検討した。実験では流れ場の可視化及び局所の温度と濃度を測定した結果、結晶成長に伴い容器上部に低濃度流体が蓄積し、そこから層が発生発達し、多層構造を形成することが明らかになった。数値解析では結晶界面に熱と物質の収支式を立て、差分法を用いて計算を行った結果、実験と比較して定性的な一致が得られた。

ホウ素炭化物 $\text{Ho}_{1-x}\text{Y}_x\text{Ni}_2\text{B}_2\text{C}$ 系の超伝導と磁歪の研究

西垣 孝司

$\text{HoNi}_2\text{B}_2\text{C}$ は超伝導と反強磁性状態が共存していると言われているが、Y には磁気は存在していない。
。
 $\text{HoNi}_2\text{B}_2\text{C}$ に Y を添加することによる超伝導と磁気状態の変化を解明することを目的としており、研究手段の一つとして磁歪測定装置を作製した。試料はアーク溶解で作製し、磁歪の測定回路はホイーストブリッジで、アクティブダミー法を使用し、ひずみの検出にはひずみゲージを使用している。磁歪の変化にも超伝導や磁気的変化に応じて変化をすることがわかった。

ガス軟窒化部の異常軟化機構

野上拓也

ガス軟窒化は鋼材で製造される部品の高性能化に対し必要かつ適切な処理であるが、その工程系列中にろう付け処理を行うと、ガス軟窒化後表面下で異常軟化部が生じ問題となっている。硬度分布、AlとNの濃度分布、ガス軟窒化部の観察から、異常軟化はろう付け時のN₂雰囲気下によるAINの生成、成長が原因で生じ、ろう付け時の雰囲気をAINの生成、成長を防ぐ不活性ガスを使用することで異常軟化を防止できることがわかった。

Fe-W 電着合金による工具類の表面改質

平田貴之

高温での硬さに優れたFe-W合金をめっき法で作製し、表面改質法としての是非をその硬さと基体との密着性から検討した。電着合金の硬さは、未熱処理の場合、電着粒子の大きさによってわずかに影響を受けるが、タングステン含有率にはほとんど影響されなかった。一方熱処理を行うと、ピッカースケールで数百程度硬さが増加し、基体表面硬さを上回った。また、基体との密着性は、熱処理温度とタングステン含有率によって影響を受けた。

TCNQ 錯体のLB膜に関する研究

二ツ谷 尚

本研究では、octadecyl-TCNQ金属錯体の作製を試み、膜の配向性や物理的性質について比較、検討した。その結果、(1) LB法により得られた累積膜はo-TCNQ銅錯体であることが確認された。(2) 累積膜は原子レベルで観察すると凝縮状態の単分子膜が基板に累積されていることが明らかとなった。(3) LB法によって電極に修飾した膜は電気化学的還元によって二量体を形成する可能性が考えられる。

パルスめっき法による酸性クエン酸浴からの Ni-Mo に関する研究

向 畠 眞一郎

酸性クエン酸浴からの Ni-Mo 電着合金に関して液相側、固相側そして電着機構について研究を行った。その結果以下のことがわかった。(1)パルスめっきの場合、直流めっきに比べて電着歪みは低減しクラックが減少した。特にパルス周波数が100Hzの場合ではクラックは認められなかった。また、電着表面は平滑になることがわかった。(2)デューティーサイクルが減少するにつれ、すなわちオフタイムが長くなるにつれモリブデン含有率は増加した。

超伝導混合状態における熱流電磁気効果

村 上 敬 喜

熱的な解析というアプローチから、超伝導混合状態の磁束フローを観測することを目的とした。熱流電磁気効果を測定できる装置を作製し、熱流電磁気効果のうちのネルンスト効果を測定することによって、磁束の輸送エントロピー S_ϕ を見積り、磁化測定による結果と比較した。また、ホール効果についても、同装置にて測定した。試料として、2-1-4系酸化物高温超伝導体 $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ と $\text{La}_{1.85}\text{Ba}_{0.15}\text{CuO}_4$ を用いた。

H_2SO_4 -NaCl 水溶液中における SUS304 ステンレス鋼の 応力腐食割れに関する研究

本 澤 明

本研究は、SUS304 鋼の H_2SO_4 -NaCl 水溶液中における SCC を含む腐食形態に及ぼす環境側因子および材料側因子の影響に注目し、SEM 観察をもとに定量的に検討を行った。SCC 発生には H_2SO_4 濃度および NaCl 濃度の両方が同時に関与し、オーステナイト相中にマルテンサイト相が存在すればマルテンサイトの優先溶解による活性経路腐食型 SCC が発生する。腐食形態には Cu, Mo 含有量の両方が関与している。

液中造粒への界面物性の影響

盛 裕 作

液中造粒法は、造粒粒子製造法の1つとして、また粉体混合物からの目的成分の成分分離法として用いられている。本研究では分散媒中への界面活性剤の添加により、分散粒子、架橋剤滴、分散媒の界面物性を変化させ、液中造粒プロセス、特に平衡造粒粒子径と、造粒粒子強度との関係について検討した。その結果、平衡造粒粒子径は、造粒粒子強度とともに増大すること、造粒粒子強度を界面活性剤の添加による界面物性の変化によって制御できることが分かった。

HRTEM による Al-Mg-Si 基合金の核生成機構の検討

吉 田 朋 夫

Al-Mg-Si 基合金の時効析出過程は、過飽和固溶体→G.P. ゾーン→中間相 β' →平衡相 β とされているが、それらは全て推論のみで確認されていなかった。本研究では、時効初期段階を高分解能電子顕微鏡で直接観察することにより G.P. ゾーンの確認に世界で初めて成功した。それらは大きさ約 1 nm 程度の微細な板状の形態をしており、また、時効時間の経過に伴って幅広で針状の形態に成長していくことを明らかにした。

断熱鋳型半連続鋳造法により作成したアルミニウム合金鋳塊の引張特性

渡 辺 亨

アルミサッシ等に使用される展伸用合金は連続鋳造鋳塊で作られることが多い。近年、製造コストの低減や鋳塊品質の向上などが求められており、その要求を満たすために多くの鋳造法が考案され実用化されている。本研究では従来の鋳造法の欠点を補うために、新しく考案した断熱鋳型半連続鋳造法を用いて表面も滑らかで組織も均一な鋳塊を作りその鋳塊特性を調べた。その結果、今後実用化が期待できる高品質な鋳塊が得られる画期的な鋳造法であることが分かった。

Fe-Mn 酸化物の炭素還元過程に関する研究

渡 辺 寛 樹

ブロック状の Fe-Mn 炭化物と粉末状の Fe-Mn 酸化物間の反応では、接触界面反応によって炭化物の最外殻に多孔質 Fe 層が生成し、酸化物層が炭化物に接する部分に MnO 層が生成する。またこのとき CO ガスが発生して酸化物層を還元し、酸化物層中に Fe と MnO が生成する。多孔質 Fe 層は反応の進行にともなって厚くなる。この厚さの時間と温度に対する変化から反応のみかけの活性化エネルギーを計算すると、約150kJ/mol という値が得られた。

液中固体面への液滴の付着

渡 邊 泰 伸

懸濁液滴の液中固体面への付着は、2つの過程を経て起こると考えられる。すなわち、最初に液滴が固体面に接近し、次に固・液二相が接触して付着に至る過程である。これらの過程に及ぼす液滴および固体面の界面物性の影響について検討を行った。その結果、液滴の固体面への付着は、液滴/固体面間の相互作用力に強く影響されること。また、液滴の固体面に対する接触角にも影響されることがわかった。

〔化学生物工学専攻〕

シソ科植物の電気融合と細胞培養

井 上 健

シソ科植物である *Mentha piperita* (ペパーミント) と *Rosmarinus officinalis* (ローズマリー) の生長点培養を行ってカルスを誘導し、更にそれを材料にして液体懸濁培養を行うことによって両細胞の大量培養を行った。次いで、その両懸濁培養細胞よりプロトプラストを単離して、両プロトプラストの電気的細胞融合を行った。その後、2,4-D 0.1mg/lを含むMS液体培地で暗黒下の静置培養を行ったところ、細胞分裂とコロニーの形成までを確認した。

HPLC Analysis and Thermal Properties of Cyclic Cyanamides Containing Alkylmelamine.

井 上 靖 彦

Cyclic cyanamides were analyzed satisfactorily by HPLC using phosphate buffer as pH values (pH 2.0-6.0) and buffer concentration (0.05M-1.0M), respectively. The identification of each cyclic cyanamide was examined and the determination was accomplished simultaneously using photodiode array UV-VIS detector. Both thermal and electron impact decomposition processes for two kinds of ethylhexylmelamine were investigated by thermal analysis and mass spectra using EI method.

樹木による大気中の C₂~C₅ アルデヒド吸収

内 田 隆 太 郎

樹木による大気中の C₂~C₅ アルデヒド吸収について明らかにするために、簡易測定装置を製作し、各種樹木の C₂~C₅ アルデヒド吸収速度を測定した。樹木による C₂~C₅ アルデヒド吸収速度は、ほぼ落葉広葉樹>常緑広葉樹>針葉樹の順であった。また、樹木間の C₂~C₅ アルデヒド吸収速度の差は、主に蒸散速度の差に基づいた。簡易ガス拡散抵抗モデルによる解析より、C₂~C₅ アルデヒドは気孔を介して樹木に吸収され代謝されることが示唆された。

刺激応答性プロテアーゼによる酵素活性の ON-OFF 制御

大澤 泰成

本研究ではプロテアーゼとして主にサーモリシンを使用し、酵素表面のアミノ基に約52℃の白濁開始温度を有する刺激応答性高分子を修飾した新規の刺激応答性プロテアーゼを調製した。本刺激応答性サーモリシンは、高分子基質に対して効率よく作用し、塩刺激により酵素活性を瞬間的に OFF 制御でき、さらに、温度刺激により酵素活性を瞬間的に ON-OFF 制御できることがわかった。

バクテリオファージ ϕ K の塩基性 J タンパク質の合成と DNA 結合様式

岡田 隆行

ファージ ϕ K の J 蛋白質はファージの形態形成において重要な役割を果たしていると推定されている。そこで、J 蛋白質を化学合成し、合成した J 蛋白質 (SynJ) とその環状一本鎖 DNA との相互作用様式を円二色性及び蛍光スペクトル法により検討した。SynJ-DNA 相互作用はイオン強度に依存して静電的並びに協同的相互作用を示した。SynJ と DNA との結合は静電作用と共に疎水性相互作用なども重要になることが示唆された。

Studies on the photochemical behavior of several sulfoxides and sulfilimines

神山 英夫

ピリジルスルホキシド誘導体を高圧水銀ランプ照射下に光分解を行なったところ、主生成物として酸素転位生成物である相当するスルフィドとスルホンが得られた。ナフチル基を有するスルフィルイミンの光分解ではスティーブンスタイプの転位生成物が得られた。さらに、分子中にスルホキシド、スルフィルイミンの両方の結合を持つチアントレン誘導体の光分解では S-N 結合の解離によりナイトレンが発生することが分かった。

新規糖脂質とレクチンとの相互作用に関する研究

川 口 智 章

新規糖担持ビニルモノマーを脂質型ラジカル開始剤を用いて重合し、新規の糖脂質を合成した。これを用いて調製したリポソームとレクチンとの相互作用について検討を行った。レクチンによるリポソームの凝集はスペーサーの長さ、ポリマーの重合度及びリポソーム中の糖脂質含量に依存した。また、新規ガラクトース担持リポソームとガラクトースレセプターを有する腹腔マクロファージとの相互作用についても併せて検討した。

固定化トランスグルコシダーゼを用いた微水系での有用配糖体の酵素的合成

黒 越 努

本研究では、常温常圧の温和な条件下で糖アルコールおよび配糖体の合成プロセスの確立を目的として、グルコースのみを特異的に認識し、転移縮合反応活性が高いトランスグルコシダーゼを固定化した2種類の固定化酵素を調製した。本固定化酵素を用いて、界面活性剤、疑似糖として利用価値のあるグルコシルオキシエチルアクリレート、甘味料や食品添加物、および化粧品に用いられるコウジ酸グルコシドを繰り返し合成することができた。

ホウ酸基担持脂質膜界面における分子認識

柴 山 麻 衣

親水部にホウ酸基と三級アミン、四級アミノニウム塩、アクリルアミドのいずれかを有する脂質を合成した。主に表面圧-分子占有面積曲線測定により、それらの脂質膜界面におけるホウ酸基の糖に対する分子認識を検討した。下層液に様々な糖及び糖タンパク質を溶解した場合、脂質の見かけ上の分子占有面積は変化した。この占有面積の変化により、ホウ酸基と糖の会合及び、その会合におよぼすアミンの効果を検討した。

高分子半導体膜を用いた農薬の光触媒分解および大気中の 1-ナフチルアミンと二酸化窒素の粒子界面上における反応

小 谷 智 樹

高分子半導体であるポリ(2,5-ジヘキソキシパラフェニレン)とポリ(3-オクチルチオフェン-2,5-ジイル)は4種の農薬に対して光触媒機能を有し、酸素による光触媒分解速度の促進効果が見られた。また、ベンゼンによる阻害効果の結果から、伝導帯で生成した $\cdot\text{OH}$ による酸化分解経路と、価電子帯のホールによる直接酸化の2経路が予想される。さらに、大気中の1-ナフチルアミンと二酸化窒素の粒子界面上における反応について報告する。

砂浜植物の実験室育種

齋 藤 健 吾

試料植物体の茎部を2,4-Dichlorophenoxyacetic acidとKinetinを含むMS寒天培地に移植し培養すると、培養1週間目にはカルス化が確認された。続いて、1-naphthaleneacetic acidと6-benzyladenineを含むMS培地中にカルスを移植し再分化誘導を行ったところ、カルス増殖は確認されたものの、再分化にまでは至らなかった。しかし、このMS培地中の窒素濃度を半減させた場合、約2週間目にカルスからの再分化が確認された。

攪拌型ビーズミルによるパン酵母内有用物質の放出過程

佐々木 智 一

本論文は、攪拌型ビーズミルによる回分破碎におけるパン酵母の破碎過程と有用物質の放出過程を実験的に明らかにするとともに、速度論に基づいて考察を行ったものである。特に、各操作条件における最大酵素放出量を用いて酵素の放出過程を解析し、それを定量的に説明するとともに、速度定数の物理的内容を明確にした。さらに、タンパク質については、全操作因子を考慮した相関式を導くことにより放出過程をほぼ統一的に示すことができた。

ヒト第14番染色体 q32 領域からの CA 反復配列を含む STS マーカーの単離

鈴木 忠 夫

CA 反復配列は染色体上で比較的均一に存在し高い遺伝的多型性が存在することから有利なマーカーであると考えられる。そこで我々はヒト第14番染色体 q32 領域をより詳細に解析するため、この領域にマップされている酵母人工染色体 (YAC) クローンを用い、CA 反復配列を含む STS マーカーの単離を試みた。その結果、インサートがすべて CA 反復配列によって構成されているクローンが得られ、今回用いた方法は CA 反復配列の濃縮には有効であることが確認された。

二酸化チタンを用いた水中の農薬の光触媒分解反応

竹 田 聡

光触媒である二酸化チタンは、環境庁基準項目及び監視項目にあげられている14種類の農薬について、光分解、加水分解と比べ非常にはやく光触媒分解した。光触媒分解速度は、農薬により差があるが、それは農薬の構造上のものまたは中間生成物が関与していると考えられる。いくつかの農薬について、分解速度に影響を与える諸因子について検討し、分解最適条件を確立した。また、中間生成物についても同定し、分解経路を予想した。

Studies on protein-polysaccharide interactions using *Escherichia coli* isometric phages *Cell Technology II*, *Department of Chemical and Biochemical Engineering*

Hisayuki Tadokoro

The microvirid phage ϕK , specific for *Escherichia coli* K12, contains a circular single-stranded (SS) DNA in the icosahedral virion comprising of four phage gene products, F, G, H, and J. ϕK_{hT} , a host-range mutant of ϕK , can grow on *E. coli* C and B, besides K12. Sequencing analysis revealed that the genome of ϕK and ϕK_{hT} consists of 6,089 bases, and ϕK_{hT} contained two changed bases in the genes G, and H.

Ni 錯体触媒を用いたポリ [(N-フタルイミドメチレン) イミノメチレン] の合成とその高分子反応性

富岡 喜昭

ポリイソシアニドは4モノマー単位で1ピッチのヘリックス構造を有する剛直なポリマーであり、更に主鎖の各炭素原子が置換基を持つ非常に密な特異的構造を有している。そのため機能性置換基を導入した、様々な新規ポリイソシアニドの構築が Nolte らを中心に報告されている。

本研究では、反応性置換基であるアミノ基を側鎖に有する新規ポリイソシアニドの構築及びその高分子反応性について検討を行った。

シッフ塩基化合物の抗酸化活性

中村 知文

我々好気性生物にとって酸素は生命活動をしていく上で必要不可欠なものである。一方、短寿命ではあるが反応性に富み様々な酸化反応に関与する酵素種（活性酸素）がある。ここでは生体分子及び、そのモデル化合物の活性酸素による酸化的損傷と新規合成抗酸化剤の活性酸素による酸化的損傷に対する阻害効果について調べた。

可動有限オートマトンによる DNA からタンパク質合成過程の 計算機シミュレーション

野本 剛

生命のセントラルドグマと言われている①DNA 鋳型として mRNA を合成する転写過程、②その mRNA からイントロンを取り除く mRNA のスプライシング過程、③スプライシングされてできた成熟 mRNA の塩基配列をもとにアミノ酸を連ねてタンパク質を合成する翻訳過程について、可動有限オートマトンモデルを用いて計算機シミュレーションを行った。その結果、各過程における生物学的知見に即したシミュレーションを行うことができた。

外部刺激による Cyclodextrin の触媒作用の制御

前 田 美智子

thymine は核酸塩基の一つであり、光によって可逆的に二量化、開裂することが知られている。 β -cyclodextrin (CD) の一級水酸基を thymine 基で修飾し、CD に光応答性を付与することを試みた。導入した thymine 基 (CD-Thy) や、その二量体 (CD-Thy-D) は、三種類のフェニルエステルの加水分解に対する触媒作用に影響を及ぼし、p-nitrophenyl acetate の加水分解において、CD-Thy の触媒効率は未修飾 CD の約1.4倍、CD-Thy-D では CD-Thy の約4倍の値を示した。CD に光応答性を付与することで、触媒作用を制御できることが判明した。

Bacillus brevis によるビフェニルの水酸化に関する研究

森 下 信 彦

ビフェニルの水酸化を行なうバクテリアとして *Bacillus brevis* を分離した。酸化はビフェニルの4-位に対して選択的に起こり、逐次的に4-ヒドロキシビフェニルと4,4'-ジヒドロキシビフェニルが生成した。酸化は30°C、pH 7付近が最適で、菌体の増殖条件で進行した。菌体に対する生成物の毒性が高いため栄養物の存在下で4,4'-ジヒドロキシビフェニルが生成した。

外部刺激に対する植物の表面電位の応答

耶 雲 隆 弘

寒天-ガラス微小電極と綿糸電極を使用し、外部刺激に対する植物の表面電位の応答を調べたところ、光刺激に対するギボウシの葉面電位の応答には葉緑体が関与している明確な実験結果を得た。また、音刺激に対するオジギソウの応答は周波数によって感度が異なり、羽片の閉合と同時に葉柄の表面電位の振動が観測された。さらに、ハーブ系植物の匂い刺激に対してカボックの葉面電位が応答を示した。

Bacillus cereus によるメチルナフタレン類の酸化に関する研究

安 吉 孝 明

メチルナフタレン類を基質として酸化能を有するバクテリアのスクリーニングを行い、野生株より *Bacillus cereus* を見出した。これは、ヒドロキシメチルナフタレンとメチルナフトールを生成した。2-位にメチル基を有するジメチルナフタレン、特に、2,6-ジメチルナフタレンは選択的に2,6-ビスヒドロキシメチルナフタレンを与えた。最適条件は30°C, pH 7であった。その他のメチルナフタレン類についても酸化を行なった。

玄米の乾燥及び吸湿過程における応力と割れ

The Relation between Calculated Stresses and Observed Cracks in Brown Rice Kernels during Drying and Moisture Adsorption processes

山 下 暢 隆

玄米の乾燥及び吸湿過程における割れの測定結果が従来の応力解析法による計算結果によって説明されることを確認した。次に、実際の米の乾燥に同解析法の応用を目指し、その解析法を非等温系に拡張した。一定条件で乾燥した米の貯蔵において貯蔵温度を変えると貯蔵過程における割れ率も変わることを見だし、拡張した応力解析法による検討を試みた。また、乾燥と貯蔵を繰り返す間欠乾燥法のシミュレーションを行った。

Hydroperoxynaphthalimide Derivatives Mediated-Oxidation and Damage of Enzymes on Photoirradiation.

山 本 貴 広

近年、老化や発ガンの原因として認識されている活性酸素種と生体分子との間の反応に対する関心が高まっており、盛んに研究が行われている。私は、可視光の照射により活性酸素種の中でも最も反応性が高いヒドロキシラジカル (HO \cdot) を発生するヒドロペルオキシナフタルイミド誘導体を用いて、種々の酵素の活性と構造に与える影響について検討した。この研究により、HO \cdot が Trp 残基を N-ホルミルキヌレニンへと酸化し、酵素活性を大きく低下させ、酵素によってはペプチド結合の切断を引き起こすことが判明した。

Study of Interfacial Molecular Recognition on Self-Assembled Monolayers
by Surface-Enhanced Resonance Raman Spectroscopy

山本 浩之

機能性を有する超薄膜を銀コロイド表面上に形成させ（自己組織化単分子膜（SAM））、界面での分子認識を表面増強共鳴ラマン分光法（SERRS）を用いて解析を行った。メルカプト脂肪酸により形成したSAMを細胞膜モデルとして、Cytochrome *c* との相互作用を検討した。チオール基を導入したシクロデキストリンにより形成したSAMで、光学活性なアゾ色素を用いて立体選択性を検討したところ、遊離条件下とは異なった結果が得られた。

機能性高分子ゲルによる金属イオンの吸着平衡

山本 哲也

本論文は、ポリアクリルアミド加水分解ゲルによるCu(II)イオンとFe(II)イオンの補足機能を、化学量論的には金属イオンの電荷数に応じて2:1の比で結合すると考えて、モノカルボン酸の解離平衡に基づいて理論的に解析したものである。また、この系の吸着機構を定量的に考察するモデル式を外水相水素イオン濃度の関数として導き、これを実験的にも検討して、二価金属イオンの単一水相および混合水相におけるゲル吸着特性を明らかにした。

含水粘土層の電気浸透的脱水特性
Characteristics of High Moisture Clay Bed for Electroosmotic Dewatering

楊 健

粘土層の電気浸透的脱水において、層内の水分は電気浸透的作用およびオスモティック吸引力の作用の両者が相互に独立に働いて移動するとみなして、水分移動の基礎式を導き、その数値計算を行った。基礎式に含まれる3個の未知定数を適当に設定すると含水率分布変化の測定値と計算値がほぼ一致することがわかった。3個の定数は層の物性値や特性などで与えられるので、粘土の密度や比表面積などを測定してそれらの定数を検討した。

〔システム生産工学専攻〕

The dynamics of electron-positron plasma cloud moving across a magnetic field

北 西 正

本博士論文では、電子-陽電子プラズマ雲に磁場と垂直方向に初速度を与え、その後のプラズマ雲の動きを3次元電磁、相対論的粒子コードを用いて調べた。その結果、プラズマ雲の一部が磁場方向に加速されること、プラズマ雲の運動により電磁波が励起されること、雲の運動エネルギーから電磁エネルギーへの変換効率が極めて良いことがわかった。さらに、初速度をあげると、相対論効果により、アルバーン波が強く励起されることが明らかになった。

A6063アルミニウム合金押出し型材のせん断加工における 形状性の向上に関する研究

木 田 秀 隆

簡易金型を用いた押出し型材のせん断加工技術は技術開発的な取り組みに遅れがある。本研究は、動的せん断機構の可視化、押出型材の形状性と加工条件との関連性について実験や数値シミュレーションから検討した。その結果、加工部形状性に及ぼす簡易金型の動的挙動や加工条件の影響、およびダイ無しせん断における押出し型材の座屈限界と各種パンチ形状の加工限界との関連性を解明し、良好な形状性を得る加工条件の最適化を図ることができた。

耐熱性アルミニウム合金粉末固化成形材料の開発

向 上

耐熱性 2024Al-Fe-Ni 系粉末合金の化学組成、粉末マイクロ組織および押出し材の機械的性質等を検討した。開発した 2024Al-3Fe-5Ni 合金は473K において0.2%耐力約400MPa、伸び20%に達した。分散強化化合物粒子成長の抑制を目的とし、そこでこの合金を用いて新たな低温固化方法—ECAP 法を提出した。この方法による固化した 2024Al-3Fe-5Ni 合金のマイクロ組織は著しく微細で、かつ大量転位が導入された。またこの固化材 ($m=0.27$) は超塑性の可能性が秘めていることを見出した。

晶析プロセスにおける結晶の形状制御と溶液側の移動現象論的研究

城 石 昭 弘

本研究は、従来の工業晶析の研究に移動現象論的手法を取入れ、結晶形状を制御しようとするものである。前半は不純物、添加物による晶癖変化と媒晶作用の事例研究を行った。後半では、結晶形状が溶液側輸送過程の異方性に多大な影響を受けることに鑑み、溶液側の二重拡散対流が結晶成長に及ぼす影響について実験および数値計算の両面から検討し、晶析操作における液側移動現象の重要性を明らかにした。

Al-Mg-Si 系合金押し材の合金組成と表面性状に関する研究

高 井 俊 宏

本研究では、昨今の押し材の複雑化や薄肉化、さらには押し速度の高速度化などに伴って益々増加傾向にあるダイライン欠陥に関し、欠陥の評価方法の確立とともに、ダイライン不良の低減に有効な合金組成の検討を行った。その結果、200°Cで2時間程度の2段均質化処理した汎用の6063合金組成と、汎用の均質化処理を施したAl-0.5mass% Mg-0.5mass% Si以上の合金組成がダイライン欠陥の防止に有効であることが判明した。

Coalescence of Two Parallel Current Loops in a Nonrelativistic Electron-Positron Plasma

JIE ZHAO

The coalescence of two parallel current loops in an electron-positron plasma is investigated by a three-dimensional electromagnetic relativistic particle code. Instead of mixing uniformly in the dissipation region as observed for current coalescence in an electron-ion plasma, electrons and positrons initially in the loops are driven to move separately by the magnetic gradient drift. Re-distribution of the current-carrying electrons and positrons creates new current loops, which coalesce again, if the initial drift velocities remain large. It is found that the energy stored in the current loops dissipates gradually through several coalescence. Consequently, the electrons and positrons near the current loops are heated through the coalescence. This process is qualitatively different from the explosive energy release during coalescence in an electron-ion plasma.

配電線地絡事故における零相電圧および電流の波形による原因判別法

堀 田 剛

配電線地絡事故時の原因判別手法として、位相平面軌跡法を導入し、それを基に新たな事故原因判別法を提案した。この手法は正規化した位相面上の零相電流軌跡に波形形状と通電時間を定量化した時間的要素を加えたもので、この電流波形を視覚的に分類することを可能にした。これにより、零相電流波形を客観的に分類、判別することができ、遠距離からの事故原因の判別を可能とした。

構造用アルミニウム合金中空型材の押出し型設計に関する基礎的研究

村 上 哲

アルミニウム中空押出し型材の高品質化を図るべく、ポートホールダイスのポート・チャンバー設計による、メタルフローを定量的・定性的に評価を行った。またメタルフローについて、シミュレーションの有効性について検討を行い予測ができるようになってきた。そして熱間押出し法における、高品質化の技術的課題を満足させる型設計法の確立に寄与すべく、ダイス内でのメタルの流出過程・変形挙動と、それに対する型材の接合状況や寸法精度の関係について対応させ明らかにした。

〔物質生産工学専攻〕

高効率化有機 EL 素子における分子構造と電気光学的特性

泉 澤 勇 昇

有機 EL (エレクトロルミネセンス) 素子を実用化するためには、高性能化する研究は重要である。素子を構成する有機材料の分子構造と素子の電気光学的特性に視点を置き、高効率化を目指した研究を行った。電子受容性と電子供与性を考慮した分子構造の有機材料を用いることで、高効率の素子の作製が出来た。

回転円錐型容器内粒子偏析効果を利用した造粒プロセスの開発に関する研究

川 上 隆 司

回転円錐型容器内粒子偏析効果による分粒作用と転動効果による造粒作用を利用した、造粒と分粒との同時操作による新しい連続造粒プロセスの開発と同操作に粉碎操作を導入した造粒と粉碎と分粒との同時操作による微細造粒粒子生成プロセス及び複合微細造粒粒子生成プロセスの開発について検討を行い、それらの可能性と設計指針を得た。更に、微細造粒粒子を含む粉粒体の静的・動的挙動に及ぼす粒子形状効果についても検討を加えた。

樹木による大気汚染物質の吸収に関する研究

近 藤 隆 之

樹木による二酸化窒素、 $C_1 \sim C_6$ アルデヒド類、フェノールの吸収について明らかにするため、測定法を開発し、各種樹木の測定を行った。樹木によるこれらの大気汚染物質の吸収速度は、概ね落葉広葉樹 > 常緑広葉樹 > 針葉樹の順であった。また、蒸散速度の大きい樹木が吸収速度も大きかった。簡易ガス拡散抵抗モデルによる解析から、 $C_1 \sim C_6$ アルデヒド類とフェノールは気孔を介して吸収され、代謝されることが示唆された。

セラミックス被覆処理鋼の耐食性評価と腐食疲労強度特性に関する研究

園 部 勝

炭素鋼上に物理気相蒸着法で被覆処理したセラミックス被膜に存在する被膜の欠陥を電気化学的な手法により定量的に精度良く評価する方法を提案し、各種被覆処理による被膜欠陥除去について検討した。また、それら被覆処理鋼では被膜欠陥の大きさ分布と被膜欠陥下部における基材の腐食挙動が腐食疲労強度特性に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。最後に被膜処理鋼の疲労強度特性に及ぼす切欠きの効果について有限要素法を用いて検討した。

DNA による個人の特定に関する研究

山 口 弘 信

犯罪鑑識への応用を目的に研究を行った。DNA 資料の採取を容易にするため PCR と解離試験法に利用可能な和紙を選定した。ついで、唾液斑痕から ABO 式血液型判定を制限酵素で切断し、ABO 式遺伝子型を判定し、布生地での PCR への影響も検討した。PM キットの 5 座位及び STR 3 座位 (TPOX, CSF1PO, TH01) の各アレルの出現頻度をもとめ、唾液斑痕及び毛髪への応用について検討した。TPOX 座位で mutation によるニューアレルを確定した。

澱粉の老化及び澱粉分解酵素による構造物性に関する研究

山 崎 偉三雄

澱粉の老化に関する研究を、X線回折と DSC によって行い、ワキシコーンスターチが老化すると B 型の結晶構造を形成し、DSC で老化によるゲルの形成と見られる吸熱のピークが観察され、老化により非晶質の状態から結晶構造が形成する。すなわち老化と結晶構造の形成が等しいと考えられた。さらに老化が水素結合と密接な関係にあることを明らかにした。細胞外グルコアミラーゼの構造と酵素活性の関係について熱による変成と水素結合阻害剤の添加による変化について活性と構造の変化について検討した。

断熱鑄型方式による新堅型半連続鑄造法の開発

山下 友一

本研究では押出、鍛造加工用鑄塊の品質向上を目的に鑄型を断熱構造とした新しい堅型半連続鑄造法を考案し、その鑄造法の特長および鑄塊組織と加工性の関係について検討した。研究の結果、本鑄造法には特定条件下で鑄型と無接触状態で鑄塊が凝固し、表面平滑化、偏析極少化および組織微細化の特長があることが明らかとなった。また、加工性に及ぼす鑄塊組織と均質化処理の影響を調べた結果、本鑄造法の鑄塊には伸びが大きく均質化しやすい特徴があることが明らかとなった。

平成 10 年 2 月 発行

富山県富山市五福3190番地

富山大学工学部紀要委員会

Contents

1. Acoustic study of winter thunder
– For analysis on lightning discharge path from the acoustic thunder signal. –
……Mitsuru Nisimura, Hidenori Sakai, Takahiro Asai, Iwao Kitamura,
Tadakuni Murai and Nagayasu Ikeda…… 1
2. Observations and measurements of discharge phenomena at falling of water drops
……Kimitaka Nanbu, Iwao Kitamura, Tadakuni Murai, Nagayasu Ikeda…… 9
3. Simulation experiments of the electric structure in a thundercloud
– Electric interaction between charged fog and water drops and
Electric field change by double charged fog –
……Masaki Matsuda, Kimisuke Hichino, Iwao Kitamura, Nagayasu Ikeda,
Tsutomu Sakai and Takeo Wakai…… 15
4. A study of sequential control of a multiped walking robot
……Takesi Sakamoto, Katsuyosi Nakada, Iwao Kitamura,
Hideo Matsuda and Nagayasu Ikeda…… 23
5. A Consideration about Gray Level Control in Antiferroelectric
Liquid Crystal Display Device
– Optical Transmission versus Polarization Reversal Electric Charge –
Koji Ishiwatari, Hiroyuki Okada and Hiroyoshi Onnagawa…… 29
6. A Basic Reserch for The Programming of Go-Moku
……Hideo Matsuda, Kazumi Sawayanagi, Takashi Miyagoshi,
Tatsuo Yamabuchi, and Yoshio Nakajima…… 33
7. A Preliminary Study on Activity of Cognition
……Yukio Kitabayashi, Lishing Guo, Yasuko Kuroda, Jien Kato,
Tsutomu Kawata and Takeshi Nakayama…… 43
8. A Study to Representation System of Force Sensation with
Object Manipulation in Virtual Space
……Lishing Guo, Yukio Kitabayashi, Yasuko Kuroda, Jien Kato,
Tsutomu Kawata and Takeshi Nakayama…… 49
9. Analysis of Strict Machine Setting of Hypoid Gear
……Akihiro KIRI, Junya YONEBAYASHI, Tadashi INATANI and Norio ITO…… 57
10. Balancing of Multi-Cylinder Engine (1)
……Akihiro KIRI, Isao HATTORI and Norio ITO…… 65
11. Double-diffusive convection during crystal growth in a supersaturated solution
……Tomoko Maeda, Akihiro Shiroishi, Takeshi Yamane,
Masamichi Yoshida and Hisashi Miyashita…… 77
12. Abstract of Master degree's thesis in 1996 85