第5回

技術部発表会報告集

1997

Kitami Institute of Technology

北見工業大学

目　次

第５回技術部発表会によせて …… 1
北見工業大学技術部長　高橋　信夫

技術発表

1. マイクロウォータージェットメスの研究開発 …… 2
発表者　機械システム工学科　佐藤　敏則
司　会　機械システム工学科　小畑　芳弘

2. シンクロナスリラクタンスモータの３相ステップ制御法 …… 11
発表者　電気電子工学科　小竹　正敏
司　会　電気電子工学科　土方　正範

3. Linux のインストールと設定 …… 20
発表者　電気電子工学科　久松　茂
司　会　電気電子工学科　大内　均

4. 有限要素法 (三次元解析) による寒冷地防波堤コンクリート構造物のひび割れ対策の検討 …… 29
発表者　土木開発工学科　岡田　包儀
司　会　土木開発工学科　猪狩　平三郎

5. 直交変換を用いた画像情報圧縮 …… 38
発表者　情報システム工学科　奥山　圭一
司　会　情報処理センター　菅原　洋子

技術実習

I. Mohr 法による塩化物イオンの沈殿滴定 …… 43
— 身近な食品の塩化物イオンから食塩濃度を測定する —
担　当　化学システム工学科　橋本　晴美、信山　直紀

II. トラバース測量実習 …… 50
担　当　土木開発工学科　相田　雅輝、平田　広昭、平松　雅宏

第５回技術部発表会によせて

技術部長　　高橋　信夫

平成３年に技術部が設置されてから６年が経過し、技術部発表会も５回を数えるに至りました。その間、本学あげての技術部の活動に対する暖かい御支援を受けて、技術部は組織的にもそして内容的にも充実してきております。その陰には、歴代の技術部長の御指導、御尽力、並びに技術部を構成する職員のたゆみない努力の蓄積が重要な役割を果たしてきたことはいうまでもありません。この流れを衰えさせることなく益々発展させることが、私を含めて技術部を構成する職員全員のこれからの仕事になります。ここに、技術部職員諸氏には、これまでの努力が無になることのないようさらに自己研鑽に努められることを御願いするとともに、技術部運営への積極的な参加を御願いします。また、本学全体からも、これまでに増しての暖かい御支援を賜わりますことを切に御願いする次第であります。

社会情勢の変化が急激に進む昨今、「大学」に対しても改革に次ぐ改革が要求されています。大学内部の組織である技術部にとっても、大学改革に無縁でいられるわけはありません。今後、技術職員各人の仕事の上でも、そして組織としての技術部においても、いままでにも増して「基礎体力向上」に対する地道な努力が必要となることは明らかです。そのような状況下、技術部職員各人の努力の成果を積極的に発表できる場として、「技術部発表会」の果たす役割は、今後も益々その重要性を増すものと思われます。今回は、５件の発表がなされます。この報告書に、学内の教職員ならびに事務職員の方々が目を通され、技術部の活動に対する御理解をさらに深めていただければと思います。

この発表会を含め技術職員研修に対する経費的な助成に、そして研修時間の捻出に御協力戴いた教職員各位にこの場を借りて御礼申し上げます。また、今後も、技術部の在り方を含め技術職員の処遇改善に繋がる可能性のある御意見・御提言を積極的にお寄せ下さいますことを御願い申し上げます。

マイクロウォータージェットメスの研究開発

機械システム工学科　佐藤敏則

1.はじめに

ウォータージェット技術は近年、さかんに研究開発されている新しい技術であり、その多くは各分野に広く利用されている[1]。金属加工や岩盤切削などの分野では、１０００気圧を超える超高圧のウォータージェットが加工機、切削機として実用化されている。一方医療の分野では、低圧マイクロウォータージェットが肝臓切離手術時のメスとして利用する試みが行われている。このマイクロウォータージェットメス（以下ＭＷＪと記す）の特徴は、水噴流によって肝実質のみを破壊し、水流とともに押し流し、脈管だけを残存させることが出来る[2]。したがって手術時の出血を少なくすることができるため、臨床例も増加している。しかし、切離付近での泡沫の発生や水噴流の跳ね返りなどにより、手術視野の妨げや２次感染となることが問題点としてあげられている。

本研究では、これらの問題を解決するために水噴流を空気噴流で気層被覆することを考えた。この空気噴流によって水噴流の跳ね返りを抑えるとともに泡沫が除去されることが期待できる。さらに空気速度分布の一様性を高め、乱れの小さな噴流が得られる最適なハンドピース形状を明らかにするために、内部形状の異なる４種類のハンドピースを制作し、形状の違いが気層被覆に与える影響を調べた。

また実際に豚の肝臓切離実験を行い、気層被覆による泡沫の除去、跳ね返りの抑制効果を調べた。さらに操作性を良くするために噴流制御用スイッチをハンドピース部に取り付け、噴流のＯＮ/ＯＦＦをコンピューターで制御した。

2.ＭＷＪの原理及び周辺装置

ウォータージェット技術とは、水圧の力を加工分野に応用したものである。これは、ノズル径０．１～１．０mm程度の細い水噴流によって固体材料の加工を行う技術であり、一般に１００～数千気圧に加圧された水噴流を用いる。医療用ＭＷＪは工業用ＷＪと異なり、１０～２０［kgf/cm²］の低い圧力範囲で使用する。ＭＷＪに使用する液体として生理食塩水(本研究では水道水を濾過したもの)を用いる

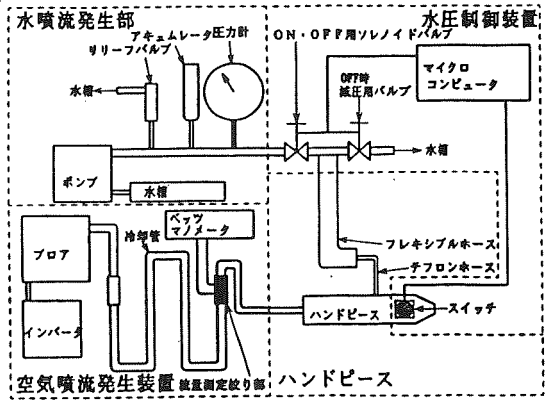


図１実験装置概略

装置の概略について図１に示す。この装置はポンプとその周辺機器から成る水噴流発生部、ブロアと冷却管から成る空気噴流発生部、制御バルブ等から成る水圧制御部、フレキシブルホースやノズルから成るハンドピース部分に分けられる。水噴流用溶液は、ポンプで汲み上げられ、リリーフバルブ、アキュムレータを通った後、水噴流ＯＮ/ＯＦＦ用ソレノイドバルブを通って最後にフレキシブルホースからノズルに送り込まれる。一方空気はブロアによって取り込まれ、ブロアによる温度の上昇を低減させるため冷却管を通過しハンドピースに送り込まれる。そして両発生部

から送られてきた水と空気は水噴流、空気噴流として噴射される仕組みになっている。

3.ハンドピースの制作

本研究では、図２に示す通り内部形状の異なる４種類のハンドピースを制作した。このハンドピースは気層被覆を行うため空気噴流ノズルと一体になっており、水噴流ノズルを内部に固定できる構造になっている。これらのハンドピースのそれぞれについて空気噴流の特性を明らかにし、特に乱れの少ない空気噴流を発生するハンドピース形状を明らかに

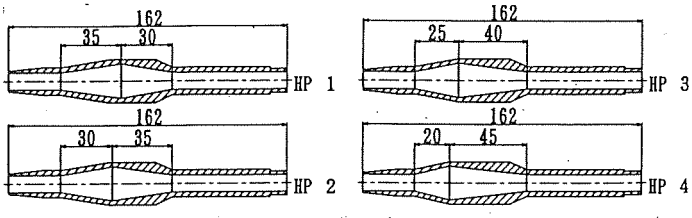


図２ハンドピース

4．実験装置

実験は肝臓切離の観察時を除き、ハンドピースをトラバース装置に固定して行った。

図３に示す通り、噴流の吹出し方向をｚ、ハンドピース先端から水噴流ノズル先端までの距離をΔＬ、水噴流ノズル先端からＩ型熱線プローブまでの距離Ｌとした。

Ｉ型熱線プローブの熱線はハンドピースに対して垂直になるように取り付けた。噴流位置のｘ、ｚ方向の移動はハンドピース側を動かすことによって行い、ｙ方向の移動は測定装置(ピトー管、Ｉ型熱線プローブ)側を動かすことによって行った。

空気噴流の速度分布と乱れ強さの測定には、熱線流速計システムを用いた。熱線流速計はあらかじめ、ＣＴＡからの信号(電圧E)と速度Ｖが比例関係(比例定数α)になるようにリニアライザにより調整した。測定はｙ＝０のｘ－ｚ平面内で行った。この時、ｘ軸方向の移動にはステッピングモータを使用した。熱線流速計システムからの信号は、電圧として出力され、それらをコンピュータに取り込んで解析した。アナログデータはＡ／Ｄ変換した後、アベレージング処理を行った。Ａ/Ｄ変換のサンプリング周波数は５［ｋＨｚ］でアベレージング処理のデータ数は１５０００点とした。

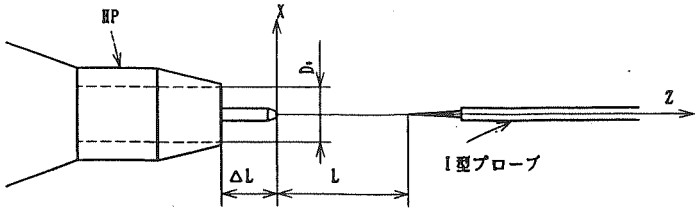
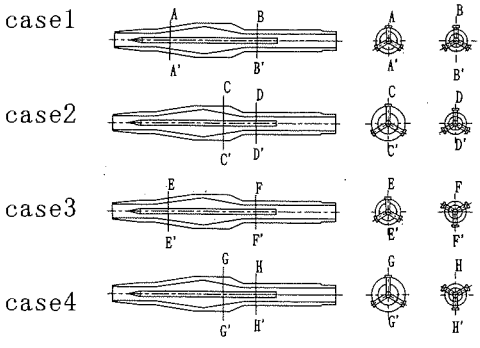


図３座標や主な記号の定義

5．実験方法

５－１　４種類ハンドピースによる空気噴流測定

まずはじめに、図2に示す内部形状の異なる４種類のハンドピースについて空気噴流の速度分布、乱れ強さを測定した。その結果、最も速度分布の一様性が良好で、乱れ強さの小さいハンドピースを１つ選び、これをその後の実験で使用した。



case1：ねじが直列、ねじの間隔が大
case2：ねじが直列、ねじの間隔が小
case3：ねじが交互、ねじの間隔が大
case4：ねじが交互、ねじの間隔が小

図４水噴流ノズル固定用ねじの配置

さらにこのハンドピースを用いて、水噴流ノズル固定用ネジ位置の違い（図４参照）による気層被覆への影響も調べた。

実験時の平均流速はＶo＝１４、２８［m/s］、の２種類とし測定位置はハンドピース先端からの距離がＬ＝５、２０［㎜］においてｘ＝±６.５［㎜］の範囲の４１点とした。

５－２　ハンドピースノズル及びノズル先端距離の違いによる空気噴流の測定

空気噴流の速度分布、乱れ強さの測定から、最も最適と思われるハンドピースを一つ選び、このハンドピースにハンドピースノズルを３種類（図５参照）装着した。この時、水噴流ノズル先端の距離Ｌを変化させ、これらの組み合わせが空気噴流に及ぼす影響を明らかにするために、空気噴流の速度分布と乱れ強さを調べた。

実験時の平均流速は、Ｖo＝１０、１５、２０、２５［m/s］とした。測定位置は水噴流ノズル先端からの距離がＬ＝１、５、１０、２０［㎜］（水噴流ノズルがハンドピース内にある時はハンドピース先端からの距離）においてノズル径がＤo＝６の時はｘ＝±７［㎜］、Ｄo＝８、１０の時はｘ＝±１２［㎜］とした。

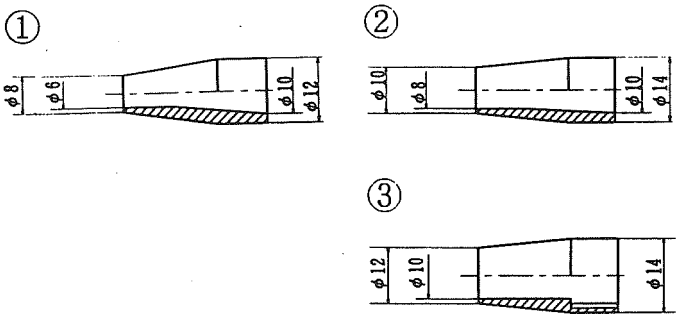


図５ハンドピースノズル

５－３　水噴流の跳ね返りの測定

肝臓切離時において、水噴流は肝実質を切削した後そのまま肝臓表面を水流となって流れていく場合と飛散していく場合の２つがある。術者が跳ね返った水流・水滴・霧を浴びたり吸引してしまった場合、二次感染の可能性がある。

泡沫除去には有効な気層被覆であるが、跳ね返りについては改良の余地がある。そこでハンドピースから水噴流ノズルを突出させることで跳ね返りにどのような影響があるか調べた。

なお跳ね返りの高さ及び飛散範囲を定量的に測定するためにレーザー光源を利用した。

飛散している水滴にレーザー光が反射したところを測定した（図６参照）。この実験時の各種条件は、ポンプ圧力１３［kgｆ/㎠］水噴流の衝突物体からノズル先端までの距離Ｌ＝１、５、２０［㎜］、平均流速Ｖｏ＝１５［m/ｓ］、ハンドピースノズル内径Ｄｏ＝１０［㎜］とした。

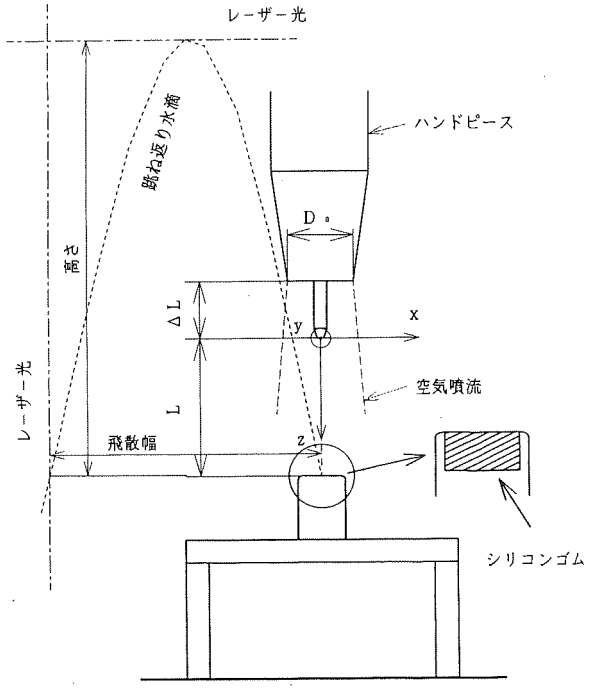


図６レーザー光による飛散範囲の測定

6．実験結果

6－1　4種類のハンドピースによる空気噴流の速度分布

ノズル先端からの距離L＝5［mm］と20［mm］におけるノズル中心のx方向の速度分布を図7に示す。図7(a)はノズル先端からの距離がL＝5［mm］における速度分布である。ハンドピース出口付近で中心流速が遅くなる傾向を示した。これはハンドピースの軸中心に設置された水噴流ノズルが影響してるためと思われる。L＝20［mm］における速度分布を図7(b)に示す。この図から各ハンドピースとも流速一定の部分であるポテンシャルコアが存在していることが分かる。

6－2　4種類のハンドピースによる空気噴流の乱れ強さ

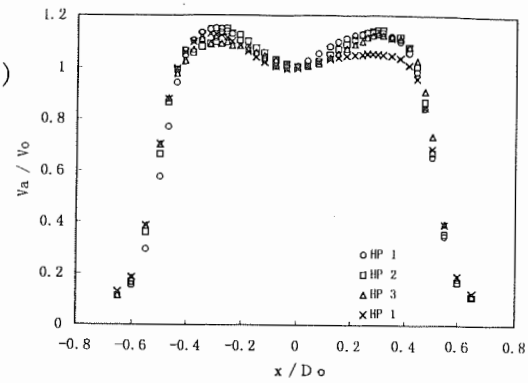
空気噴流の乱れ強さを図8に示す。

図8(a)はL=5［mm］での乱れ強さを示している。各ノズルとも x/Do＝±0.2、±0.5の位置で乱れ強さが大きくなっているのが分かる。x/Do＝±0.2の位置は、水噴流ノズルの外壁面に相当する。x/Do＝±0.5の位置は、空気噴流ノズル出口の内壁面に相当する。この測定位置では、ノズル壁面に発生する境界層が乱れに影響していると考えられる。さらにx/Do＝＋0.2よりもx/Do＝－0.2の方が大きな乱れになっている。

これは水噴流ノズルを固定しているねじの影響と考えられる。

図8(b)はL=20［mm］での乱れ強さを示している。Lが増加すると噴流の中心付近で乱れ強さの最小値が存在している。またハンドピース別に見るとHP4が測定全般にわたり他のハンドピースよりも乱れを小さく抑えていることが分かった

(a)



(b)

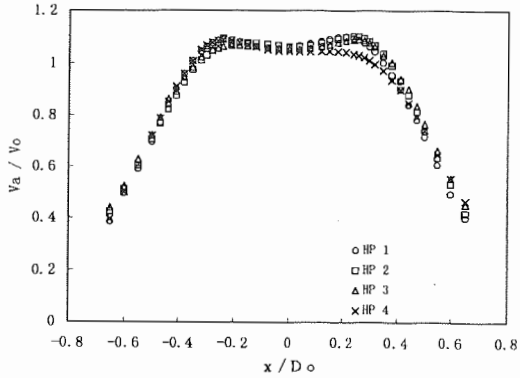
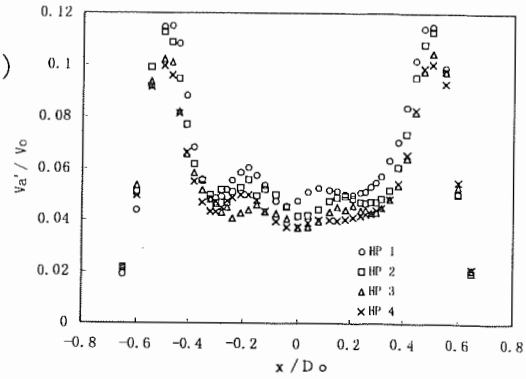


図7 空気噴流の速度分布

（Do＝10［mm］、Vo＝14.0［m/s］）

(a)L＝5［mm］、(b)L＝20［mm］

(a)



(b)

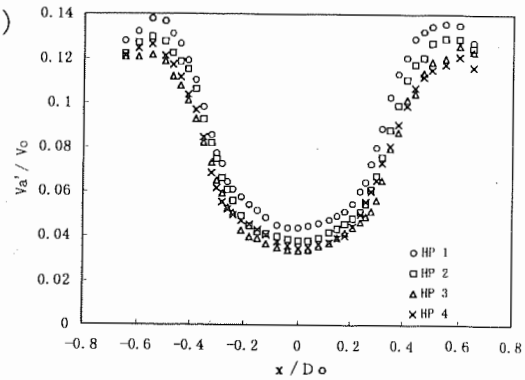


図8 空気噴流の乱れ強さ

（Do＝10［mm］、Vo＝14.0［m/s］）

(a)L＝5［mm］、(b)L＝20［mm］

６－３　ネジ位置の違いによる速度分布の変化

ハンドピース4を用いて、水噴流ノズル固定用ネジの位置の違いによる速度分布への影響を調べた。その結果、ネジ位置のパターンについてはcase１～case４の４通りあるが、ハンドピース先端からの距離Ｌや空気噴流平均流速Voが異なっても、ほとんど差は見られなかった。

６－４　ネジ位置の違いによる乱れ強さの変化

乱れ強さについて、図９(ａ)～(ｃ)に示す。

(ａ)と(ｂ)はハンドピース先端からの距離Ｌ＝５［mm］の時である。図８と同じようにｘ/Do＝±０．２、０．５で乱れ強さが大きくなっている。また、流速が遅い時、ねじ間隔が小さい場合は、これが大きい場合より乱れ強さが大きくなっている。

(ｃ)は、Ｌ=２０［mm］における乱れ強さの分布図である。どの条件もねじ位置の違いで特に大きな差が見られないが、ねじの間隔が大で直列状に配置されている場合が、他の場合に比べて乱れを小さく抑えている。

以上の結果から、ねじ位置間隔が大で直列状にある場合case1を最適ハンドピースとした。

６－５ハンドピースノズル及びノズル先端距離の違いによる空気噴流の速度分布

ノズル部直径Do、平均流速Vo、ノズル先端からの距離Ｌ、ノズルの突き出し長さΔＬの組み合わせを変えて空気噴流の速度分布を測定した。ノズルからの距離L＝１、５、１０、２０［mm］における速度分布を図１０に示す。(ａ)～(ｄ)のΔＬ＝－２０［mm］では、中心付近での速度欠損は小さく、ほぼ一様な分布になっている。

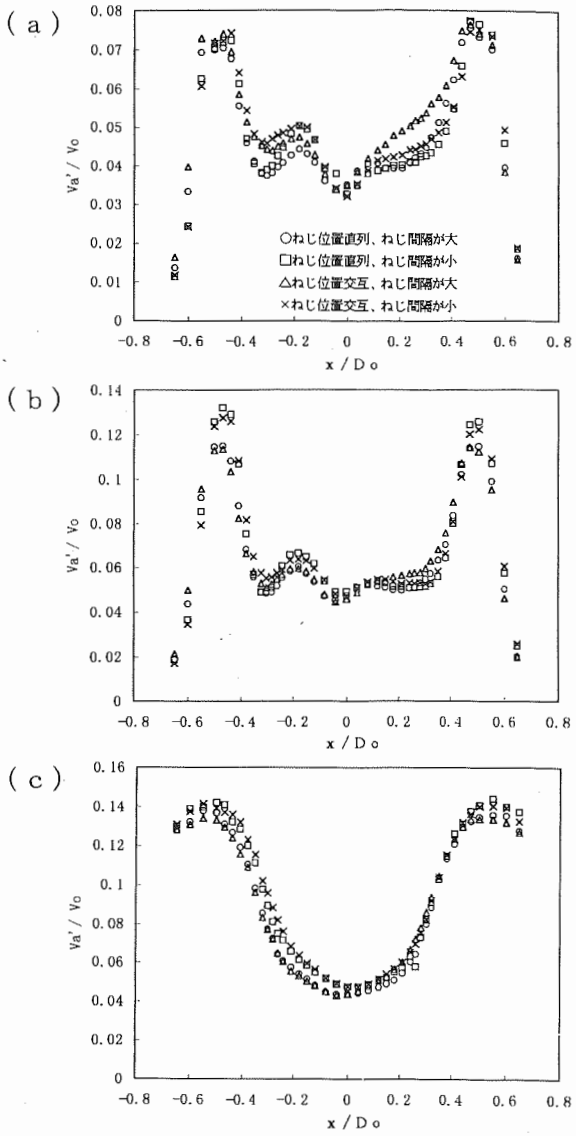


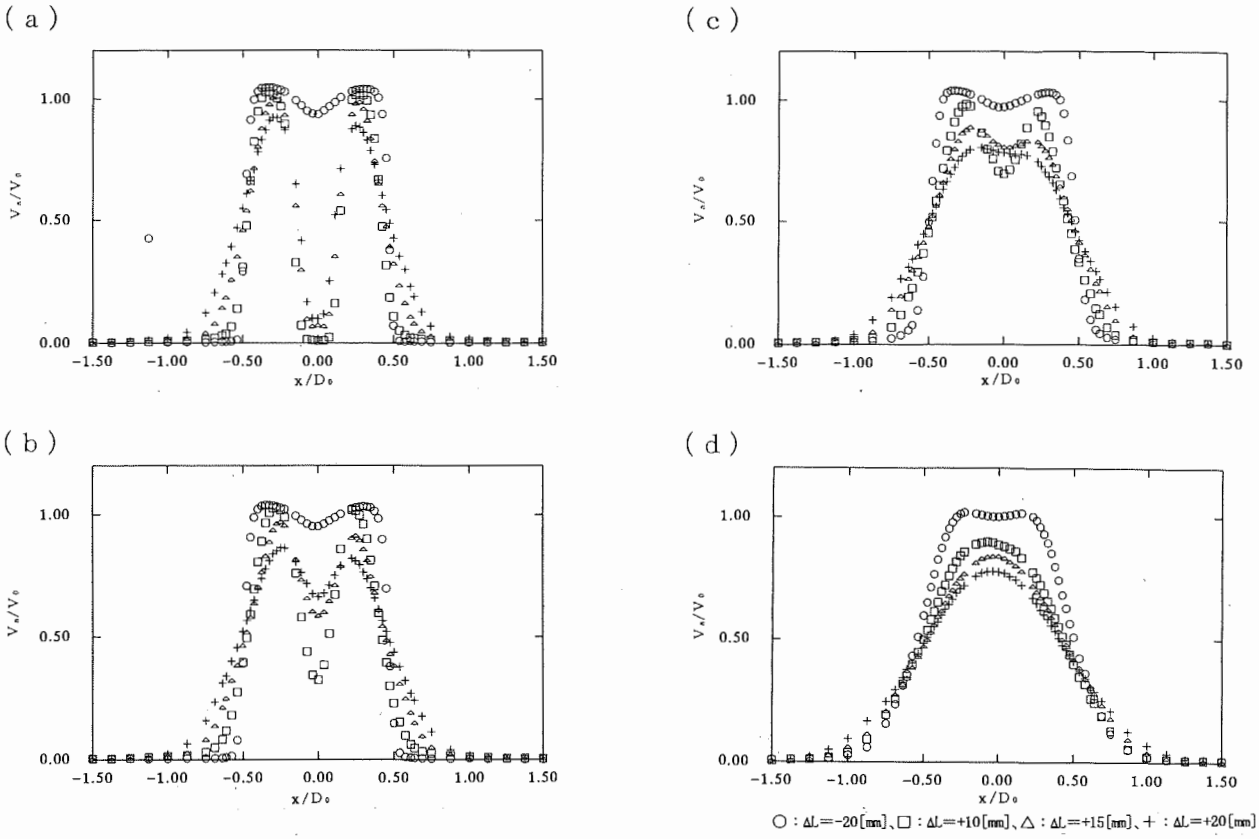
図９ねじ位置の違いによる空気噴流の乱れ強さ（Do＝１０［mm］）

(ａ)　Vo＝２８．０、Ｌ＝５［mm］

(ｂ)　Vo＝１４．０、Ｌ＝５［mm］

(ｃ)　Vo＝１４．０、Ｌ＝２０［mm］

しかしΔL＝＋１０、＋１５、＋２０［mm］の場合、水噴流ノズルにより噴流中心に大きな速度欠損領域が発生する。この事によって、ノズル近傍では環状噴流が形成されている事が分かる。速度欠損領域の速度は下流に行くに従って回復していくが、速度欠損が完全に回復する距離はノズルの突き出し距離ΔＬ、平均流速Vo、空気噴流出口の直径Doに



よって変化する。図１０(ａ)～(ｄ)における速度欠損領域は、ΔL＝－２０の場合いずれの条件についても小さい。逆にΔLが正の場合、L＝１０［mm］以下の時、大きな速度欠損領域が見られる。特にノズル近傍Ｌ＝１［mm］については、中心付近の速度はほぼ０に近く、L=5［mm］においても大きな速度欠損領域が形成されている。すなわち、水噴流ノズルか突き出た場合、空気噴流は環状噴流であることが分かる。

この事で速度欠損領域はLの増加につれて減少し、L＝２０［mm］においては、ΔL＝－２０［mm］を除き速度欠損は見られない。また速度欠損は、ΔLが大きいほど早く回復す傾向がある。 図１１の場合、Do＝６［mm］、Ｌ＝１０［mm］の速度分布においてΔL＝＋２０、－２０［mm］以外で速度欠損領域が見られた。この事から、Doが小さくなると速度欠損の回復が遅くなることが分かる。

図１０空気噴流の速度分布
（Vo＝１５［m/s］、Do＝８［mm］）
(a)Ｌ＝１［mm］、(b)Ｌ＝５［mm］
(c)Ｌ＝１０［mm］、(d)Ｌ＝２０［mm］

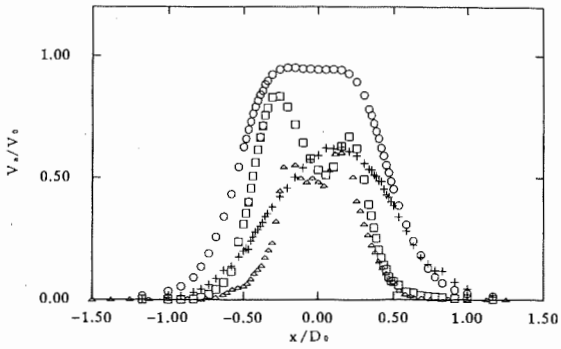


図１１空気噴流の速度分布
L=１０［mm］、Do＝６［mm］
Vo＝１５［m/s］

６－６ハンドピースノズル及びノズル先端距離の違いによる空気噴流の乱れ強さ

水噴流ノズル（又は空気噴流ノズル）からの距離L＝１、５、１０、２０［mm］におけ

る乱れ強さを図１２に示す。

図１２(ａ)～(ｃ)に示す通り、水噴流ノズルがハンドピース出口より上流（ΔL＝－２０［mm］）にある時、水噴流ノズル直径Do＝１０［mm］の時の方がDo＝６、８［mm］より乱れが大きいことが分かる。これは、Doが大きいため、縮流効果が小さく乱れが減衰しにくいためと思われる。

Do＝８［mm］、ΔL＝－２０［mm］の場合、ハンドピースノズルの内壁及び噴流ノズルの外縁と一致する部分で乱れが大きくなっている。また、ΔL＝＋１０、＋１５、＋２０［mm］の場合より乱れは広範囲に拡散している。

Do＝６［mm］の場合、Do＝８［mm］より縮流効果が高いので乱れが小さくなると思われたが、平均流速が遅い時のノズル中心における乱れ強さは、Do＝８、１０［mm］と変わらなかった。さらに、出口流速が速くなるにつれ中心部の乱れは大きくなった。これは、Doが小さくなり過ぎると、水ノズル外壁と空気ノズル内壁の隙間が小さくなり、両壁面で発達する境界層の影響が大きくなるためと思われる。

６－７跳ね返りについて

ハンドピース先端からから水噴流ノズル先端までの距離ΔＬの変化による跳ね返り高さを図１３に示す。

跳ね返り高さについては、ΔＬが大きくなるにつれ最高点は高くなった。しかし水噴流ノズルから衝突物体までの距離Ｌが近いほど最高点は低くなることが分かる。これは、跳ね返りがハンドピースに衝突し跳ね返り高さを低くしている。飛散幅については、跳ね返り高さに関係なく、あまり変化はなかった。

跳ね返り高さと飛散範囲の結果から気層被覆による跳ね返りの抑制は認められなかった。それよりも衝突物体に水噴流ノズルを近づけることが、跳ね返りの抑制には効果的であることが分かった。

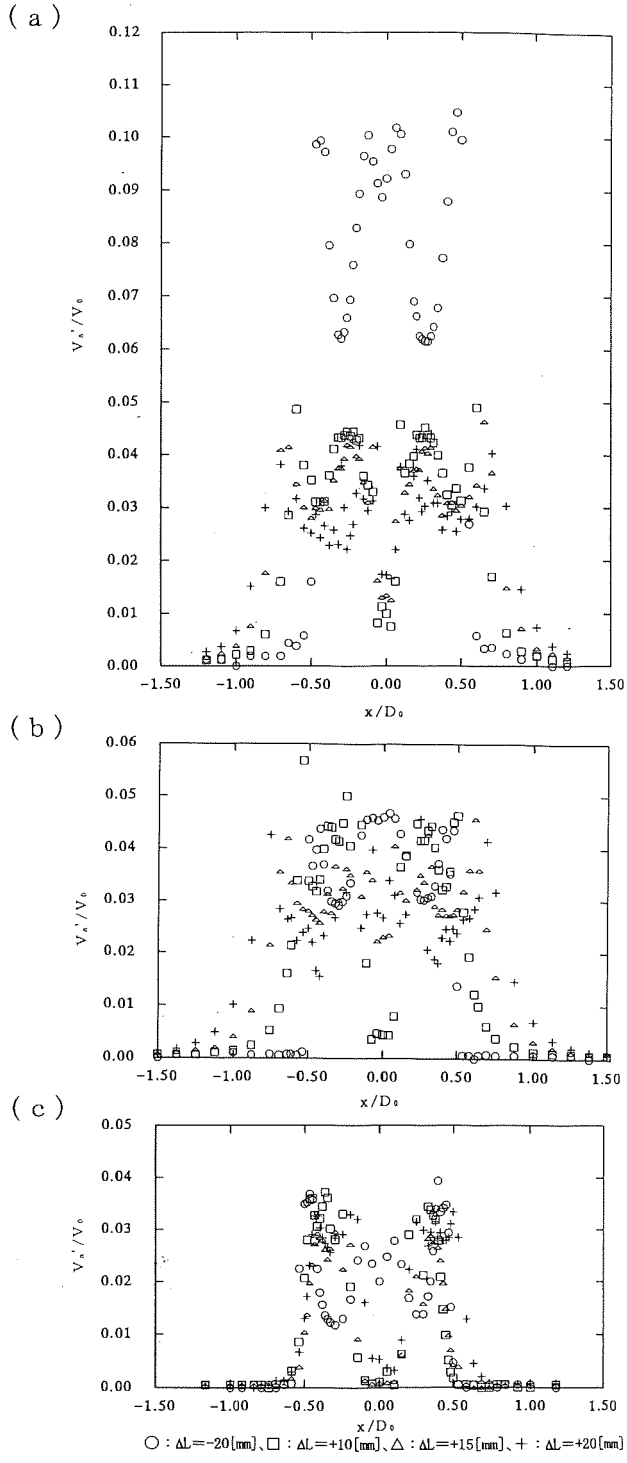


図１２ハンドピースノズル及びとノズル先端距離の違いによる空気噴流の乱れ強さ

（Vo＝１５［m/s］、Ｌ＝１［mm］）

（ａ）Do＝１０［mm］、（ｂ）Do＝８［mm］

（ｃ）Do＝６［mm］

7．水圧制御システムの制作と結果

操作性を向上させるためハンドピースにスイッチを取り付け水噴流のＯＮ／ＯＦＦ制御を行った。この結果、水の切れもストレスの無い程度（約１/１０秒）になった。さらに手元にスイッチがあることで肝臓切離実験においても数段操作性が向上した。

8．肝臓切離実験

肝臓切離の様子について写真１(ａ)～(ｃ)に示す。この時の測定条件は水圧１４(kgf/cm^2)、平均流速Ｖo＝１５、２０、２５［m/s］、ΔL=+１５［㎜］ノズル直径Ｄo=６、８、１０［㎜］である。

写真１(ａ)は気層被覆なしにおける切離実験である。気層被覆が無いので、泡沫、水が残存し切離面の確認が困難である。また水が溜まっているため切れ味も悪くなった。

写真１（ｂ）（ｃ)は平均流速２０、２５［m/s］、空気噴流ノズル直径Ｄo=８［㎜］の場合である。泡沫は除去されているが、平均流速が上がっても跳ね返りを抑制することはできなかった。やはり水噴流ノズルを、切離面に接触させるぐらい近づけることの方が効果的だと思われる。

低速である流速１５［m/s］の場合は、泡沫を除去できたが最低限の除去であり十分な視界確保はできなかった。さらに流速２５［m/s］以上になると風圧によって細い脈管までが切断される場合があった。

空気噴流ノズル直径DoについてはDo=６［㎜］の場合操作性は良いが泡沫除去は良いとは言えない。Do=１０［㎜］は他のと同様に泡沫除去、跳ね返り抑制は良いが狙いを付けにくいので操作性が良くない。また、ΔL＝１５［㎜］以上にしても操作性の悪化につながるだけであった。

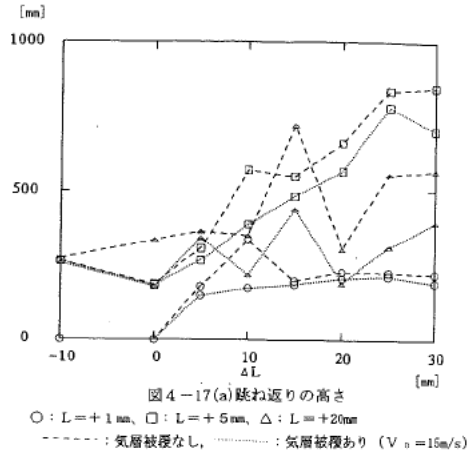


図１３跳ね返りの高さ

（ａ）

（ｂ）

（ｃ）

写真1、Do＝８［㎜］

（ａ）気層被覆なし

（ｂ）Vo＝１５［m/s］

（ｃ）Vo＝２５［m/s］

9．まとめ

本実験では、マイクロウォータージェットメスの実用化のために、メスとしての性能や操作性の向上を目指して各実験を行った。その結果最適なハンドピース形状やノズル形状、位置等を決めることができた。本研究をまとめると以下の通りになる。

実用化を考慮して操作性を重視した、４種類のハンドピースを制作し、最も操作性が良く乱れを抑えたものを選んだ。また水噴流ノズルを突き出すことにより切離面の狙いが付けやすくなった。さらに、噴流中心に大きな速度欠損領域が形成され空気噴流が環状噴流になった。この事は、水噴流の周りの流速が０［m/s］に近いため切離面を押し広げないことで切離面の脈管を切断しにくくなった。そこでさらに流速を上げることができるようになったので泡沫の除去効果は上がり、視界を十分確保できるようになった。跳ね返りの抑制については気層被覆による抑制効果は低かった。

水噴流のＯＮ／ＯＦＦ制御装置製作によって水の切れもストレスの無い程度(約１/１０秒)になった。さらに手元にスイッチがあることで肝臓切離実験においても数段操作性が向上した。

今回得られた最適条件は以下の通りである。空気噴流ノズルDo＝８［㎜］、ΔL＝１５［㎜］、水圧１２～１４［kgf/cm²］、空気噴流の平均流速Vo＝２０～２５［m/s］

今後、跳ね返りの抑制について研究の余地がある。さらに、水圧自動調整装置、水噴流吸引装置などの制作が必要である。

10．謝辞

本研究を完成するに当たり、終始懇切丁寧な御指導、御鞭撻を得た機械システム工学科、流体機器学研究室の松村助教授に深甚なる謝意を表します。

また、実験装置製作にあたり同学科、同研究室の宮越勝美助手に御協力頂き厚く御礼申し上げます。計測の一部については、当時、応用機械工学科４年山岡克之氏、機械システム工学科４年杉浦徳彦氏に深く感謝いたします。

【参考文献】

１）　日本ウォータージェット学会、ウォータージェット技術辞典、（１９９３）

２）　宇根良衛、佐藤祐二、堀江卓、柿田章、佐野文男、内野純一、北海道外科雑誌（１９８６）

３）　山岡克之、ウォータージェットメスの研究開発、北見工業大学卒業論文（１９９５）

４）　杉浦徳彦、ウォータージェットメスの研究開発、北見工業大学卒業論文（１９９６）

シンクロナスリラクタンスモータの3相ステップ制御法

電気電子工学科　　小竹　正敏

1．まえがき

半導体素子の研究、開発と共に電気機器としてのモータの応用は、産業界のあらゆる分野に及んでいる。

従来、モータはその原動機としての重要な役割とともに、一般的に連続運動を行わせ、負荷に対する伝達は機械的クラッチでON-OFFさせるなどの単純なものであった。

近年、各分野でのモータの利用が拡大し、PWMインバータなどの電力変換器の開発と共に、モータに対する要求も変化してきた。たとえば生産工場の自動化、省力化を目指すFAロボットにおけるモータはパワー環境性、価格、寿命などの従来の要求事項に対して、位置決め精度、小型化、省エネルギー化などがさらに付加されてきた。また、事務処理の合理化、処理能力拡大を目指すOA機器や情報端末機におけるモータにおいても、センサレス化による小型化、速応性、高精度化などが要求されている。

最近、駆動回路の高性能化、回転子位置センサー技術の発展などの基礎技術の成熟に伴い、供給するパルス信号によりディジタル的に回転するリラクタンスモータが注目されている。

リラクタンスモータの研究に関しては、主に回転機の構造とインバータ駆動によるドライブ装置の簡単化が主テーマであった。

本論文は、回転子に同期して回転する座標軸の基本式より、シンクロナスリラクタンスモータの状態方程式を求め、最適制御理論を応用した速度制御系、位置制御系を構成し、シンクロナスリラクタンスモータの３相ステップ駆動法への応用を考察する。

2．システムの記述

2.1システムの記述　シンクロナスリラクタンスモータは、回転子に界磁巻線を持たない突極形同期電動機と考えることができる。回転子はかご形誘導電動機の回転子と同様の構造を持ち、始動トルクが確保できるので交流側から自己始動が可能である。

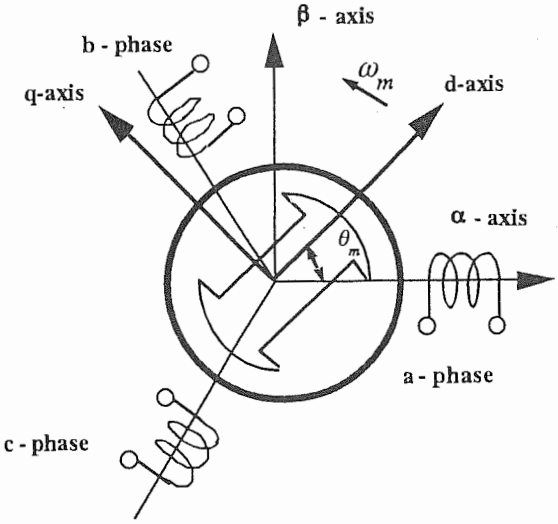


Fig.1 Synchronus reluctance motor.

Fig.1に示される３相、２極のシンクロナスリラクタンスモータを考える。静止座標軸を$\alpha-\beta$軸、回転子に同期して回転する座標軸をd-q軸とする。Fig.1の固定子３相巻線と回転子巻線（d-q軸）に関して以下の式が得られる。以下、本論文においては単位法を採用する。

$$V = \frac{d\lambda}{dt} + ri \tag{1}$$

$$\lambda = Li \tag{2}$$

電圧、電流、鎖交磁束マトリクスは、それぞれ以下のように表わされる。

$$V=\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, i=\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \\ i_{dr} \\ i_{qr} \end{bmatrix}, \lambda=\begin{bmatrix} \lambda_a \\ \lambda_b \\ \lambda_c \\ \lambda_{dr} \\ \lambda_{qr} \end{bmatrix} \quad (3)$$

インダクタンスマトリクスは以下のように表わされる。

$$L=\begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ba} & L_{ca} & L_{da} & L_{qa} \\ L_{ab} & L_{bb} & L_{cb} & L_{db} & L_{qb} \\ L_{ac} & L_{bc} & L_{cc} & L_{dc} & L_{qc} \\ L_{ad} & L_{bd} & L_{cd} & L_{dd} & 0 \\ L_{aq} & L_{bq} & L_{cq} & 0 & L_{qq} \end{bmatrix} \quad (4)$$

回転子回路の自己インダクタンスは、回転子角 θ_m の変化の影響を受けないが、固定子巻線と回転子巻線間の相互インダクタンスは θ_m の関数となる。インダクタンスの変化を**Fig.2**に示す。各巻の自己、相互インダクタンスはそれぞれ以下のように表わされる。

固定子自己インダクタンス

$$L_{aa}=L_{sl}+L_{so}-L_{sl}\cos 2\theta_m$$
$$L_{bb}=L_{sl}+L_{so}-L_{sl}\cos 2(\theta_m-2\pi/3)$$
$$L_{cc}=L_{sl}+L_{so}-L_{sl}\cos 2(\theta_m+2\pi/3) \quad (5)$$

回転子自己インダクタンス

$$L_{dd}=L_{ld}+L_{dr}$$
$$L_{qq}=L_{lq}+L_{qr} \quad (6)$$

固定間相互インダクタンス

$$L_{ac}=-1/2\,L_{so}-L_{sl}\cos 2(\theta_m-2\pi/3)$$
$$L_{ac}=-1/2\,L_{so}-L_{sl}\cos 2(\theta_m+2\pi/3)$$
$$L_{ac}=-1/2\,L_{so}-L_{sl}\cos 2(\theta_m+\pi)$$
$$L_{ab}=L_{ba},\ L_{ac}=L_{ca},\ L_{bc}=L_{cb} \quad (7)$$

回転子相互インダクタンス

$$L_{dq}=L_{qd}=0 \quad (8)$$

固定子 - 回転子間相互インダクタンス

$$L_{ad}=L_{da}=L_{dr}\sin\theta_m$$
$$L_{aq}=L_{qa}=L_{qr}\cos\theta_m$$
$$L_{bd}=L_{db}=L_{dr}\sin(\theta_m-2\pi/3)$$
$$L_{bq}=L_{dq}=L_{qr}\sin(\theta_m-2\pi/3)$$
$$L_{cd}=L_{dc}=L_{dr}\sin(\theta_m+2\pi/3)$$
$$L_{cq}=L_{qc}=L_{qr}\sin(\theta_m+2\pi/3) \quad (9)$$

ここで

L_{sl} : 固定子巻線漏れインダクタンス

L_{ld}, L_{lq} : 回転子巻線漏れインダクタンス

L_{so} : 自己インダクタンス

L_{dr}, L_{qr} : 定数

$\theta_m=\omega_m t+\delta_o$

δ_o : 初期負荷角

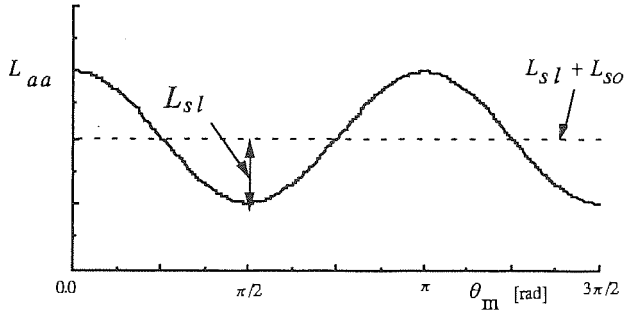


Fig.2 Definition of inductance.

2.2 d-q軸の基本式 (1)式は(4)式のインダクタンスが回転子の位置により変化し、微分方程式は時変系となるので、これを避けるために固定子3相巻線をd-q軸へ変換する。変換マトリクスは次式となる。

$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_o \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \sin\theta_m & \sin(\theta_m-2\pi/3) & \sin(\theta_m+2\pi/3) \\ \cos\theta_m & \cos(\theta_m-2\pi/3) & \cos(\theta_m+2\pi/3) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (10)$$

(10)式において変数 f は、電圧、電流、鎖交磁束の諸量を表わす。また零相成分 f_o は、固定子の対称性と3相Y結線システムにより零と

することができる。(10)式の変換マトリクスを用いて、回転子側（二次側）諸量を固定子側(一次側）に換算することによりd-q軸の固定子電圧方程式は次式となる。

$$V_{ds} = r_s i_{ds} + \frac{d\lambda_{ds}}{dt} - \lambda_{qs}\omega_m$$

$$V_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{d\lambda_{qs}}{dt} + \lambda_{ds}\omega_m \tag{11}$$

シンクロナスリラクタンスモータでは、回転子が短絡されているので回転子の電圧方程式は次式となる。

$$0 = r_{dr} i_{dr} + \frac{d\lambda_{dr}}{dt}$$

$$0 = r_{qr} i_{qr} + \frac{d\lambda_{qr}}{dt} \tag{12}$$

同期電動機においては、回転子上にd-q軸を設定するので、固定子側にある電機子巻線は相対的に見れば、速度$P\theta_m = \omega_m$で回転していることになる。したがって、(11)、(12)式のように、固定子電圧方程式には鎖交磁束$\lambda_{ds}, \lambda_{qs}$に対する速度起電力が存在し、回転子方程式には速度起電力が存在しないことがわかる。

d-q軸で表わされた鎖交磁束、インダクタンスはそれぞれ次式のようになる。

鎖交磁束式

$$\lambda_{ds} = L_{ds} i_{ds} + L_{ad} i_{dr}$$

$$\lambda_{qs} = L_{qs} i_{qs} + L_{aq} i_{qr}$$

$$\lambda_{dr} = L_{ad} i_{ds} + L_{dr} i_{dr}$$

$$\lambda_{qr} = L_{aq} i_{qs} + L_{aq} i_{qr} \tag{13}$$

インダクタンス

$$L_{ds} = L_{ls} + L_{ds}$$

$$L_{qs} = L_{ls} + L_{qs}$$

$$L_{ad} = 3/2(L_{so} + L_{sl})$$

$$L_{aq} = 3/2(L_{so} - L_{sl}) \tag{14}$$

発生トルクの瞬時値は次式で表わされる。

$$\tau_e = (n/2)(p/2)(\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \tag{15}$$

n ： 相数、 p： 極数

3． 制御法

(15)式のトルク式に(13)式の鎖交磁束式を代入すると次式を得る。

$$\tau_e = (3/2)(L_{ds} - L_{qs}) i_{ds} i_{qs} + (3/2) L_{ad} i_{dr} i_{qs} - (3/2) L_{aq} i_{qr} i_{dr} \tag{16}$$

ここで係数3/2はパーユニットトルクを表わす。

(16)式のトルクはリラクタンストルクと呼ばれるものである。定常状態(同期運転)ではダンパー電流(i_{dr} 、i_{qr})は零となるが、これを常に実現させることを考える。

本論文の制御系構成の特徴の一つは、同期はずれのない安定な制御系を構成することであり、内部相差角δ（負荷角)を次式で定義し、この負荷角δ を出力として制御する。

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_e - \omega_m \tag{17}$$

ω_e ：同期速度　　ω_m ：回転角速度

負荷角δ を一定にあるいは負荷トルクに応じて制御することにより回転角速度は電源に同期し、脱調(同期はずれ)や乱調のない制御系が構成可能となる。次にd軸電機子電流i_{ds} を一定に制御すると、(12)式より次式をうる。

$$i_{dr} = i_{dr}(0)\exp\left(-\frac{r_{dr}}{L_{dr}}t\right) = 0$$

$$i_{qr} = \frac{-L_{aq}}{r_{qr} + L_{qr}p} i_{qs} \tag{18}$$

P ：微分演算子 d/dt

トルクτ_eは$\tau_e \propto i_{ds} \cdot i_{qs}$ となり、i_{qs} を高速に制御することにより高速トルク応答が期待できる。

4． 状態方程式

4．1シンクロナスリラクタンスモータの状態方程式 回転角速度ω_mに同期して回転するd-q座標軸におけるシンクロナスリ

ラクタンスモータの状態方程式は、基本式、電圧方程式、トルク方程式から以下の式で表わされる。

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega_e - \omega_m \tag{19}$$

$$\frac{d\theta_m}{dt} = \omega_b\,\omega_m \tag{20}$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{3\omega_b}{4H}(\lambda_{ds}\,i_{qs} - \lambda_{qs}\,i_{ds}) - \frac{\omega_b}{2H}\tau_L \tag{21}$$

$$\frac{d\,i_{ds}}{dt} = \frac{1}{\sigma}\left(V_{ds} + \frac{r_{ds}}{L_{dr}}\lambda_{ds} - R\,i_{ds} + \lambda_{qs}\omega_m\right) \tag{22}$$

$$\frac{d\,i_{qs}}{dt} = \frac{1}{\sigma}\left(V_{qs} + \frac{r_{qs}}{L_{qr}}\lambda_{qs} - R\,i_{qs} - \lambda_{ds}\omega_m\right) \tag{23}$$

$$\frac{d\lambda_{ds}}{dt} = V_{ds} + \lambda_{qs}\omega_m - r_s\,i_{ds} \tag{24}$$

$$\frac{d\lambda_{qs}}{dt} = V_{qs} - \lambda_{ds}\omega_m - r_s\,i_{qs} \tag{25}$$

本論文は単位法で表わしているが、角度をラジアン(rad)で表示するために基準角周波数ω_bを用いている。

4.2 PWMインバータの状態方程式

PWMインバータは出力波形の半周期内のパルスを複数個に分割し、個々のパルス幅を制御することによって出力電圧の制御と波形改善を行うものである。シンクロナスリラクタンスモータの制御においては、直流電圧をPWMインバータによって3相交流電圧に変換し、その電圧を入力電圧とする。PWMインバータと電動機を一体のものとして考えてシステムを設計する。**Fig.3**に回路図、**Fig.4**に静止α-β軸等価回路を示す。

α-β軸等価回路のベクトル表示の回路方程式は以下のように得られる。

$$C_p\frac{dV_c}{dt} = i_A - i_S \tag{26}$$

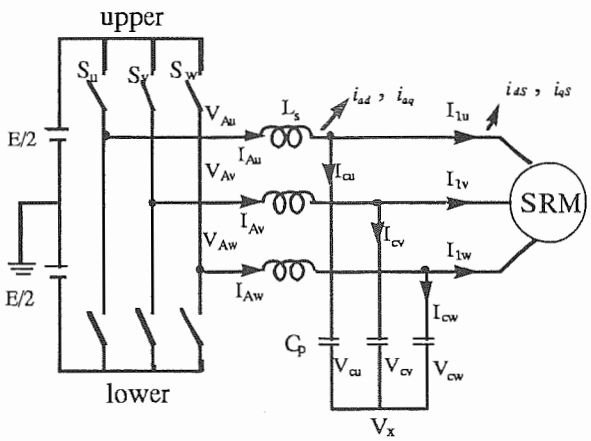


Fig.3 Inverter-fed SRM.

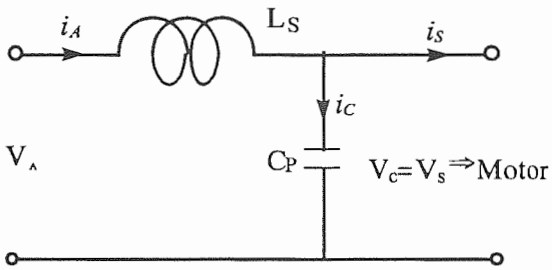


Fig.4 Equivalent circuit α-β axes.

$$L_s\frac{d\,i_A}{dt} = V_A - V_C \tag{27}$$

高性能可変速制御系の制御アルゴリズムは同期角速度で回転するd-q座標軸で構成されるので(26),(27)式をd-q軸へ変換する。ベクトルの変換は次式となる。

$$f^{d\text{-}q} = f^{\alpha\text{-}\beta}e^{-\omega_e t} \tag{28}$$

(26),(27)式の電圧、電流ベクトルを(28)式でベクトル変換すれば以下の式を得る。

$$L_s\frac{d\,i_A}{dt} = V_A - V_C - j\omega_e L_s i_A \tag{29}$$

$$C_p\frac{d\,V_C}{dt} = i_A - i_S - j\omega_e C_p V_C \tag{30}$$

ここで

$$V_A = V_{ad} + jV_{aq},\quad V_C = V_{cd} + jV_{cq}$$

$$i_A = i_{ad} + ji_{aq},\quad i_S = i_{dS} + ji_{dq}$$

フィルタ回路の状態変数としてV_Cとi_Cを選ぶとインバータ回路の状態方程式は次式で示さ

れる。

$$\frac{d i_{cd}}{d t} = \frac{1}{L_s} V_{ad} - \frac{1}{L_s} V_{ds} + \omega_e i_{cq} + \omega_e i_{qs} - \frac{d i_{ds}}{d t} \quad (31)$$

$$\frac{d i_{cq}}{d t} = \frac{1}{L_s} V_{aq} - \frac{1}{L_s} V_{qs} - \omega_e i_{cd} - \omega_e i_{ds} - \frac{d i_{qs}}{d t} \quad (32)$$

$$\frac{d V_{ds}}{d t} = \omega_e V_{ds} + \frac{1}{C_p} i_{cq} \quad (33)$$

$$\frac{d V_{qs}}{d t} = \omega_e V_{qs} + \frac{1}{C_p} i_{cd} \quad (34)$$

5. 制御系の構成

状態変数x，制御入力u，出力y，外乱dを次式で定義する。

速度制御

$$x = [\delta, \omega_m, i_{ds}, i_{qs}, \lambda_{ds}, \lambda_{qs}, i_{cd}, i_{cq}, V_{ds}, V_{qs}]^T$$
$$u = [\omega_e, V_{ds}, V_{qs}]$$
$$y_m = [\omega_m, \delta, i_{ds}] \quad (35)$$
$$d = \tau_L$$

位置制御

$$x = [\delta, \theta_m, i_{ds}, i_{qs}, \omega_m, \lambda_{ds}, \lambda_{qs}, i_{cd}, i_{cq}, V_{ds}, V_{qs}]^T$$
$$u = [\omega_e, V_{ds}, V_{qs}]$$
$$y_\theta = [\theta_m, \delta, i_{ds}] \quad (36)$$
$$d = \tau_L$$

T ：転置

(19)～(25),(31)～(34)式の状態方程式を動作点近傍で線形化し、1サンプリング周期に等しい入力むだ時間を考慮して離散時間値系に変換すると次式となる。

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k-1) + Ed(k) \quad (37)$$

$$y(k) = Cx(k) \quad (38)$$

ただし、行列 A，B，E は以下のように表わされる。

$$A = e^{\overline{A}T} = \phi(t)$$

$$B = \int_0^T \phi(\lambda) \overline{B} d\lambda$$

$$E = \int_0^T \phi(\lambda) \overline{E} d\lambda$$

T ：サンプリング周期

(37),(38)式で与えられる制御対象に対して誤差eを次式で定義する。

$$e(k) = R(k) - y(k) \quad (39)$$

$R(k) = [\delta^R(k), \omega_m^R(k), i_{ds}^R(k)]^T$ ：速度制御

$R(k) = [\delta^R(k), \theta_m^R(k), i_{ds}^R(k)]^T$ ：位置制御

R ：目標値

次に誤差、状態変数の一階差分値を新たな状態とし、入力変数に一階差分値を新たな入力変数に選んだ拡大系、エラーシステムを構成する。

$$\begin{bmatrix} e(k+1) \\ \Delta x(k+1) \\ \Delta u(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & -CA & -CB \\ 0 & A & B \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e(k) \\ \Delta x(k) \\ \Delta u(k-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} \Delta u(k) + \begin{bmatrix} I \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta R(k+1) + \begin{bmatrix} -CE \\ E \\ 0 \end{bmatrix} \Delta d(k) \quad (40)$$

ただし△は差分をあらわし以下を意味する。

$$\Delta x(k) = x(k) - x(k-1)$$

(40)式を次式で表わす。

$$X(k+1) = \Psi X(k) + G\Delta u(k) + G_R \Delta R(k+1) + G_d \Delta d(k) \quad (41)$$

目標値、外乱信号はステップ信号と仮定するとエラーシステムの状態方程式は以下のように得られる。

$$X(k+1) = \Psi X(k) + G\Delta u(k) \quad (42)$$

(42)式のエラーシステムは、大きなパラメータ変動、ステップ外乱変動に対してできるだけ安定性が保証されることが望ましい。そのための一つの有効な手段として最適レギュレータ理論を利用する。(42)式に対して、次のような2

次形式の評価関数を定義する。

$$PI=(2/1)\sum_{j=1}^{\infty}\left[X(j)^TQX(j)+\Delta u(j)^TH\Delta u(j)\right] \quad (43)$$

(43) 式の右辺第一項は誤差信号の重み付二乗面積、　第二項は入力の重み付二乗積分値、つまり制御に必要なエネルギーをあらわしている。

ここで、Q, Hはそれぞれ誤差と入力の重み行列で、正定値対称行列となるように次式で与えられる。

$$Q=\begin{bmatrix} Q_e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},\ H=\begin{bmatrix} h_1 & 0 & 0 \\ 0 & h_2 & 0 \\ 0 & 0 & h_3 \end{bmatrix} \quad (44)$$

$Q_e=\mathrm{diag}[Q_1, Q_2, Q_3]$　, diag ：対角行列

(43)式で与えられる最適レギュレータ問題を解くと最適制御入力は次式となる。

$$\Delta u(k)=FX(k) \quad \text{F：ﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸｹﾞｲﾝ} \quad (45)$$

$$F=[\ F_e \quad F_x \quad F_u\ ]$$

$$X(k)=[\ e(k) \quad \Delta x(k) \quad \Delta u(k-1)\ ]^T$$

$$F=-\left[H+G^TPG\right]^{-1}G^TP\Psi \quad (46)$$

Pは離散値リカッチ(Riccati)方程式の定常解であり、次式で与えられる。

$$P=Q+\Psi^TP\Psi-\Psi^TPG\left[H+G^TPG\right]^{-1}G^TP\Psi \quad (47)$$

Q, Hを対称行列としているので、Pは正定対称行列となることが知られている。また、(45)式の最適制御入力はエラーシステムの全状態フィードバック制御となる。**Fig.5**にブロック線図を示す。

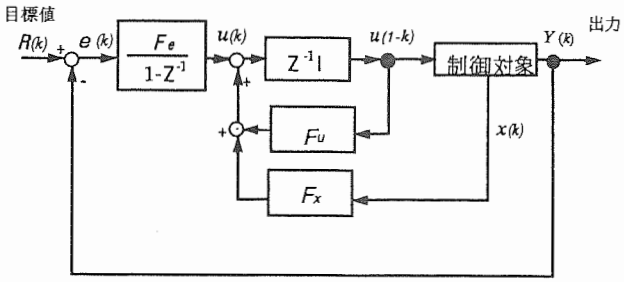


Fig.5 Block diagram.

ここでコントローラの構造を示すために(45)式を解くと次式を得る。

$$u(k)=F_e\sum_{j=1}^{k}e(k)+F_xx(k)+F_uu(k-1) \quad (48)$$

ただし、$F_u=[F_e \quad F_x]$

コントローラは積分要素、比例要素、むだ時間補償要素から構成される。

6.シミュレーション結果

6.1 PWM制御法　電力変換器としてPWMインバータを用いた制御系の構成線図を**Fig.6**に示す。インバータのスイッチングパターンは電源角速度ω_eより、電圧ベクトルの位置を$(\theta_e)=\omega_e t$として求め、±30°の間で同一スイッチングとする。**Fig.7**に電圧パターンを示す。インバータのPWM制御法は以下の通りである。

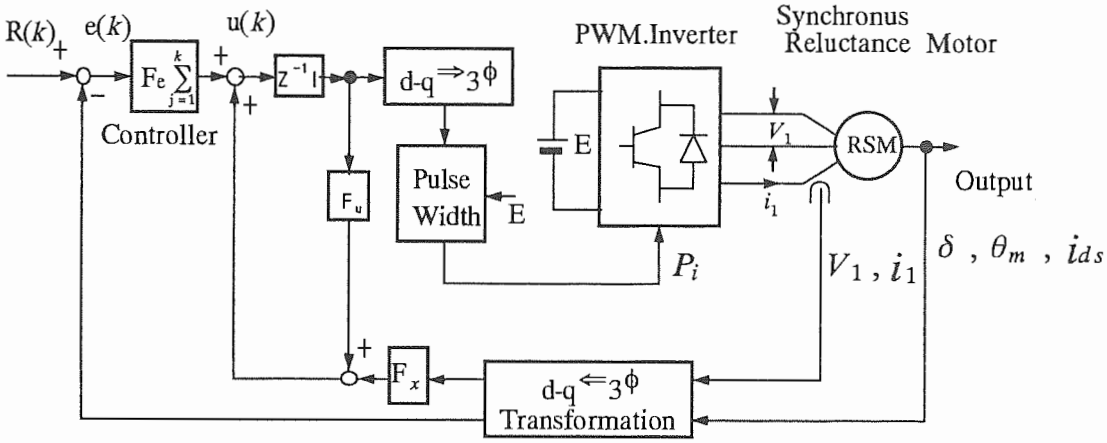


Fig.6 Control system structure.

(45)式より得られた最適制御入力V_{ds}, V_{qs}, ω_eから電圧ベクトルの大きさと象限判定を行い、インバータが出力すべき電圧ベクトルを(10)式より求めた次式で算定する。

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \end{bmatrix} = -\sqrt{2}\begin{bmatrix} -\sqrt{3}/2 & 1/2 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\theta_e(k) & -\sin\theta_e(k) \\ \sin\theta_e(k) & \cos\theta_e(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \end{bmatrix} \quad (49)$$

求めたインバータ線間電圧は直流電圧Eとなるので、実際にモータを駆動させるために必要な電圧は、等価面積法を使用してパルス幅変換することでPWM波形を得る。変換式を以下に示す。

$$P_i = V_i(k)\frac{T}{E} \quad i=ab,bc,ca \quad (50)$$

6.2 シミュレーション結果 本論文で明らかにしたモデルを用いて、速度制御系、位置制御系のシミュレーション結果から本論文の制御法の有効性を確認する。

Fig.8は速度0.1～0.15[p.u]までの応答である。評価関数の重み係数は応答を確認しながら以下のように選んだ。

Q_1=100.0 ,Q_2=50.0 ,Q_3=0.5

h_1=5.0 ,h_2=0.001 ,h_3=0.005

電機子電流i_{ds}が一定に制御され、トルクτ_eは電機子電流i_{qs}に比例している。本論文の目的の一つである同期はずれのない安定な制御を実現するため、回転子位置角δの目標値を与え、過渡においても電源周波数に同期するよう制御系を構成したが、角速度ω_mと電源角周波数ω_eはよく一致しており、負荷角δを状態変数に選んだ妥当性が証明されている。**Fig.9**は停止した状態から位置角θ_m=90°まで進ませた位置制御系の応答である。これにおいても、同期状態で高速トルク応答が得られており良好な位置御が行われている。

7. むすび

シンクロナスリラクタンスモータの可変速制御、位置制御系を構成し、シミュレーション結果から制御系構成法の有用性を確かめた。シンクロナスリラクタンスモータは交流側から自己始動でき、本論文で明らかにしたモデルを用いて制御系を構成すれば、繁雑な始動、停止を繰り返す位置サーボ系においても安定かつ精密な制御が期待される。

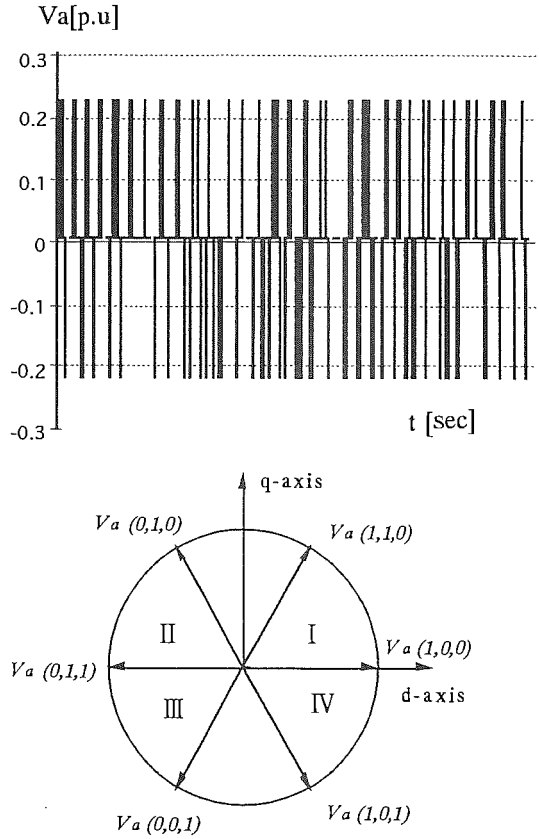


Fig.7 Pulse patten.

最後に本論文を完成するにあたり、終始懇切丁寧なご指導をいただいた電気電子工学科村田年昭助教授に心から感謝いたします。

参考文献

1)T.A.Lipo and P.C.Krause:Stability Analysis of a Reluctance-Synchronous Machine,IEEE Trans.on Power Appartus and Systems, PAS-86, NO.7(1967)

2)村田・小竹・土谷・武田：リラクタンスシンクロナスモータの制御法、第25回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集、B26 (1993)

3)村田・土谷：リラクタンスシンクロナスモータのステップ制御法、平成9年電気学会全国大会講演論文集、NO.986、4-327/4-328(1997)

4)土谷・江上：現代制御工学、産業図書(1991)

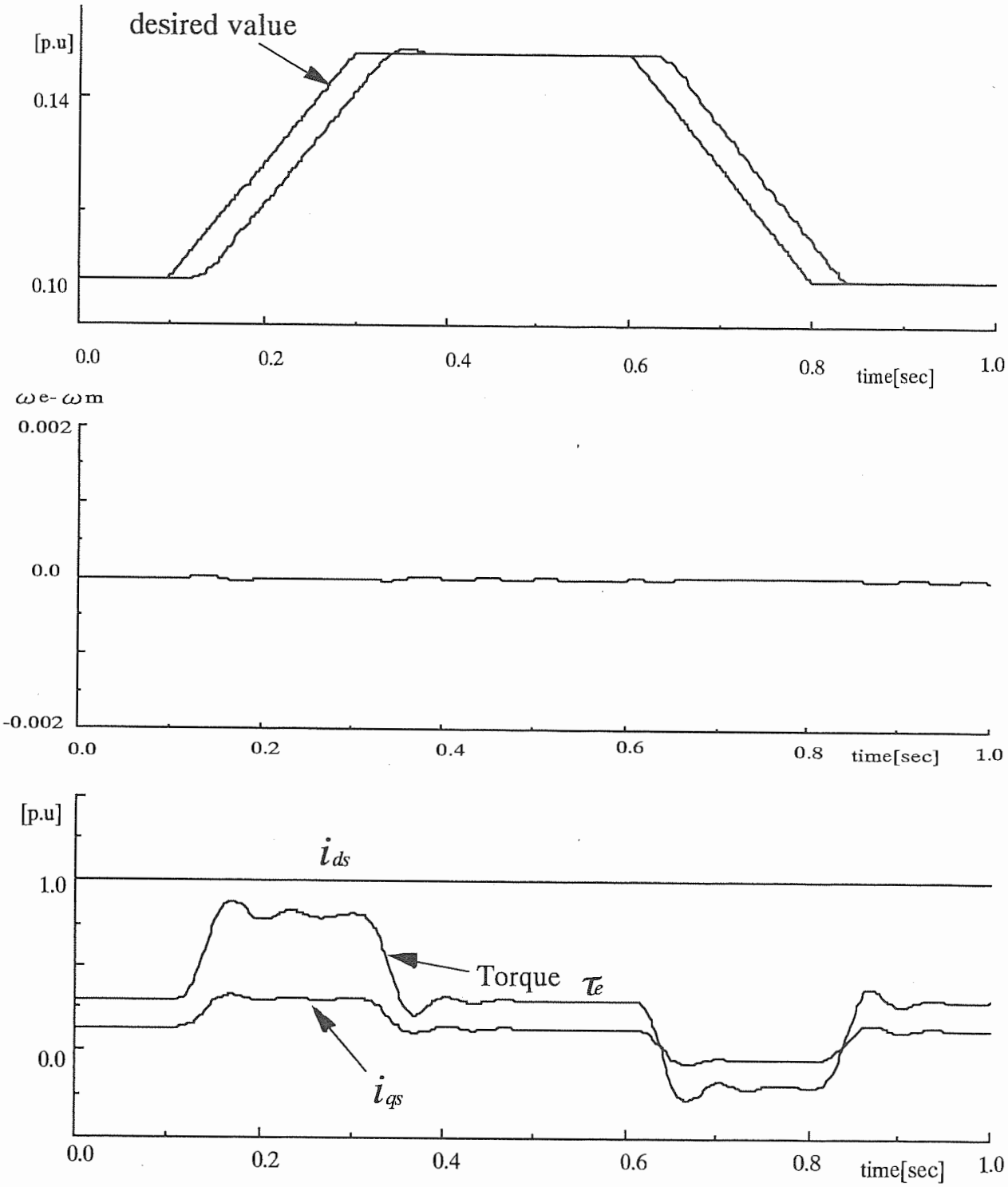


Fig.8 Responses for desired speed.

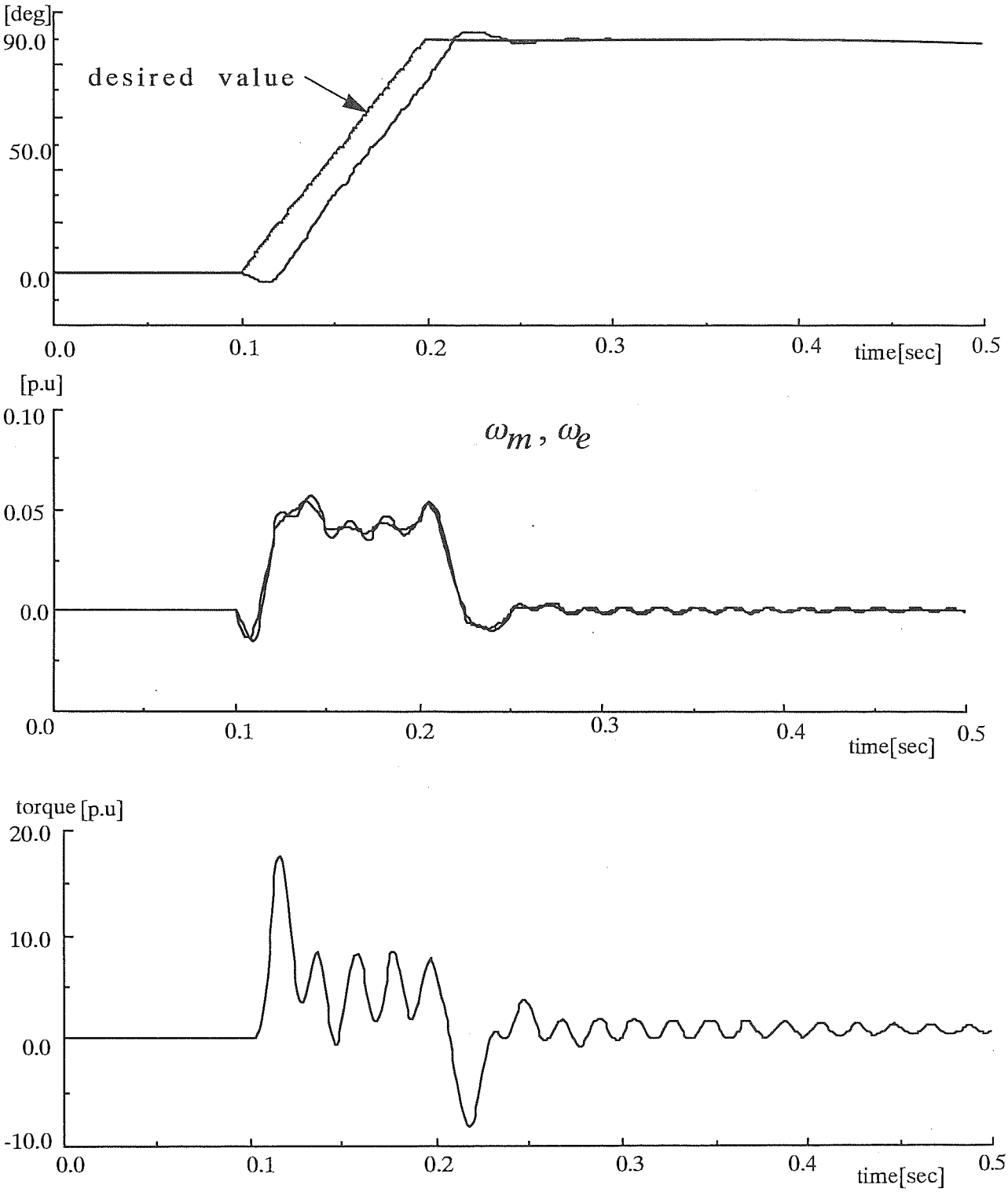


Fig.9 Responses for desired position.

Ｌｉｎｕｘのインストールと設定

電気電子工学科　　久松　茂

近年、パーソナルコンピュータ（IBM PC/AT 互換機）上において動作する、PC-UNIX（Linux,Free BSD 等）が注目されている。また、最近ではこれらのインストール及び活用に関する書籍・雑誌も多数見受けられるようになってきた。本報告では、今回 Slackware を使用して Linux のインストールを試みたので、インストールの手順及びインストール後の環境設定について概説する。

１　はじめに

UNIX は１９６０年代後半に、AT&T ベル研究所の Ken Tompson 氏を中心とするグループによって、ミニコン用の OS（オペレーティングシステム）として開発された。

UNIX には、現在大きく分けて AT&T 系の UNIX System Ｖとカリフォルニア大学バークレー校で拡張された BSD(Berkeley Software Destribution)UNIX の２種類が存在する。

UNIX は、以前はミニコンやワークステーションでのみ稼働していた OS であったが、PC-UNIX の出現によりパソコン上でも使用できるようになった。現在使用できる PC-UNIX には、Linux、Free BSD、Net BSD、BSD/OS 等があり、主に PC/AT 互換機（PC98 で動作するものもある）で動作している。

ここで、今回インストールを試みた Linux（正しくはリヌクスと読むがリナックス、リニックスとも発音される）について紹介する。Linux はフィンランドの Linus Torvalds 氏が０（ゼロ）から作り上げたカーネルと、GNU(General Public License)などのコマンド群で構成される UNIX 互換 OS で、次のような点が特徴として上げられる。

● UNIX 互換 OS である。

Linux は POSIX（IEEE による OS の標準規格）仕様の OS で、System Ｖ や BSD からの拡張機能を取り込んでいる。

●日本語ドキュメントが豊富である。

Linux 関連のドキュメントを整備するための組織として JF(Janamese FAQ)があり、英語版のドキュメントの邦訳をしている。また、書籍も多数出版されている。

●対応しているハードウェアの機種が多い。

Linux は、PC/AT 互換機をはじめ DEC Alpha、Power PC、でも動作する。また、Linux に対応しているハードウェアが豊富で、SCSI インターフェースやサウンドカードもメジャーなものについてはほとんど使用可能である。

●配布パッケージが多く入手が簡単である。

Linux には Slackware、Red Hat、Debian などフリーの配布パッケージや商用パッケージを含め、複数のパッケージが公開されている。また、ネットワークで入手できる他、雑誌の付録の CD-ROM 等からも入手することができる。

２　インストールの準備

ここでは Linux の配布パッケージの中から Slackware を使用した。また、Linux をインストールした PC（IBM PC/AT 互換機）のハードウェアの構成及び使用したソフトウェアは次のとおりである。

2．1ハードウェアの構成

Linux をインストールした PC のハードウェアの構成は、表１の通りである。Linux ではハードウェアがサポートされるまでに、ある程度の時間が必要である。したがって、ここでは最新のパーツは使用せず、Linux のインストールにおいて動作実績のあるパーツ構成としている。

2．2　ソフトウェア

ソフトウェアとしては、Slackware-3.1.0 と JE-0.9.8a （日本語環境ソフトウェア）を使用した。これらソフトウェアについては、書籍添付の物を使用した。

3　Ｌｉｎｕｘのインストール

ここで Linux の配布パッケージ Slackware のインストールについて説明する。インストール作業の全体の流れは図１のとおりである。

CPU	Pentium 133MHz
マザーボード	INTEL ENDEVOUR 256K
メモリ	64Mバイト
ビデオカード	9FX MOTION 771 (NUMBER NINE)
ネットワークインターフェースカード(NIC)	3C509B-COMBO(3Com)
SCSIインターフェース	BT-946C(Buslogic)
ハードディスク(HDD)	XP32150(Quantum)、SCSI 、2Gバイト
フロッピーディスクドライブ(FDD)	3.5インチ、2モード
CD-ROMドライブ	XM5301B(TOSHIBA) 、SCSI、4.4倍速
キーボード	JKB106S(Justy)
マウス	Mouse Systems 互換品、3ボタン、シリアル
ディスプレイ	MT-8521E(iiyama)

表１　ハードウェアの構成

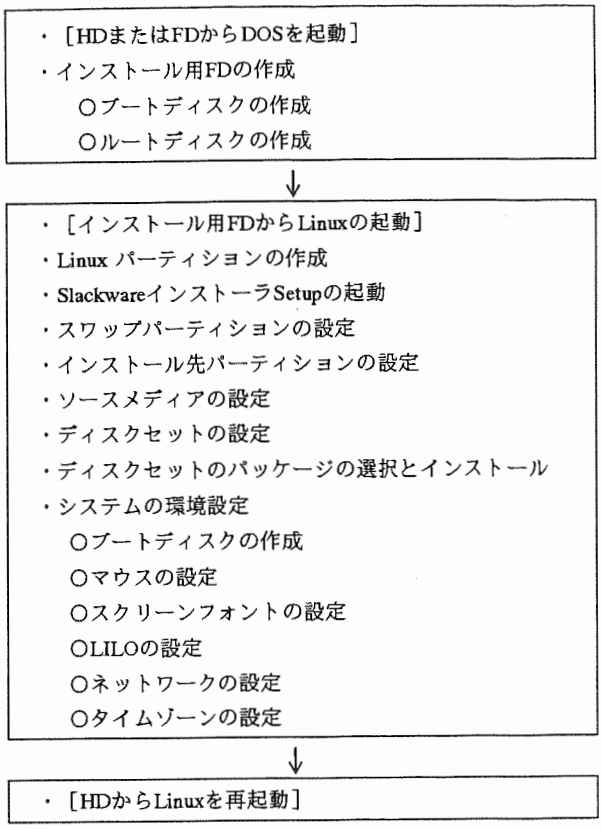


図１　インストールの手順

まず、インストール作業を始める前に 3.5 インチ 2HD の FD（フロッピーディスク）を３枚用意し、それらを DOS でフォーマットしておく。このうち２枚はインストール作業のために使用され、残りの１枚は緊急用ブートディスク作成のために使用される。

ところで、ここでの Linux のインストールは、SCSI の CD-ROM ドライブを使って、未使用の SCSI の HD（ハードディスク）にインストールした場合の手順である。

3．1　インストール用FDの作成

まず、インストールに使用するブートディスクとルートディスクを作成する。この２枚のディスクは、CD-ROM に格納されているディスクイメージファイルを、FD に書き込む

ことによって作成される。ブートディスクには、Linux のカーネルが書き込まれる。ルートディスクには、Linux の基本コマンドとインストールコマンドが書き込まれる。

ブートディスク用のイメージファイルは、カーネルに組み込まれたデバイスドライバの種類に応じて、複数 CD-ROM に格納されている。その中から自分の PC のハードウェア構成に合ったファイルを選択し、FD に書き込む。ルートディスク用のイメージファイルにもいくつかの種類があり、CD-ROM に格納されている。通常はその中のファイルから color.gz が選択され、FD に書き込まれる。

これら FD の作成を DOS 上から行う場合、RAWRITE.EXE という DOS 用のツールを使用する。ここで、CD-ROM ドライブは D ドライブとする。

ブートディスクを作成する場合、ここでは BUSLOGIC の SCSI コントローラに接続された CD-ROM ドライブから SCSI の HD へのインストールを行うので、ディレクトリ D:¥SLACK310¥BOOTDSKS.144 に格納されている BUSLOGIC.S というファイルを、以下のようにして FD に書き込む。

```
D:¥> CD  SLACK310¥BOOTDSKS
D:¥> RAWRITE  BUSLOGIC.S  A:
```

次にルートディスクを作成する場合、ディレクトリ D:¥SLACK310¥ROOTDSKS に格納されている COLOR.GZ イメージファイルを、FD に書き込む。

```
D:¥> CD  SLACK310¥ROOTDSKS
D:¥> RAWRITE  COLOR.GZ  A:
```

3．2　インストール用FDからの起動

インストール用 FD を使って、インストール作業のための Linux を起動する。まず、ブートディスクを FD ドライブに挿入し PC を再起動させると、次のようなメッセージが表示され入力待ちになる。

```
boot:
```

ここでリターンキーを入力する。すると、カーネルが読み込まれた後、各種ハードウエア情報が表示される。これらの情報から、HDD や CD-ROM ドライブが正しく認識されているかをチェックする。正しく認識されていたら、以下の行が表示されて入力待ちになる。

```
VFS: Insert  root  floppy  disk  to  be  loaded  into
                                ramdisk  and  press  ENTER
```

FD ドライブに入っているディスクをルートディスクに交換し、リターンキー を押す。正常に起動すると、以下のようなログインプロンプトが表示される。

```
You may now login as "root".
Slackware Login :
```

3．3　パーティションの設定

root でログイン後、fdisk コマンドを使ってディスクパーティションの設定を行う。

```
# fdisk  デバイス名
```

デバイス名は、ハードディスクの種類によって異なる。SCSI の場合は 1 台目の HDD ならば /dev/sda であり 2 台目の HDD ならば /dev/sdb、IDE の場合は 1 台目の HDD ならば /dev/hda であり 2 台目の HDD ならば/dev/hdb となる。

```
Command (m for help): p

Disk /dev/sda: 255heads, 63sectors, 261 cylinders
Units = cylinders of 16065 * 512 bytes

  Device  Boot  Begin   Start   End   Blocks   Id   Systerm
/dev/sda1   *      1       1    131  1052226   6   DOS 16-bit >=32M
/dev/sda2        132     132    253   979965  83   Linux native
/dev/sda3        254     254    261    64260  82   Linux swap
```

図２　ディスクパーティションの確認

ここでは 2GB の HDD(SCSI)を１台使用して、Linux を動かすのに最低限必要なルートパーティションとスワップパーティションのみを確保した（図２）。

DOS パーティションを約 1GB、Linux のルート用として約 980MB、スワップ用に約 64MB 確保している。

パーティションの設定が終了したら、設定したパーティションを認識させるために、PC を再起動させる。

ブートディスクを FD ドライブに入れて、

```
# reboot
```

と入力し PC を再起動させ、root でログインする。

３．４　Slackwareのインストール

再起動させて root でログイン後、setup というインストーラによって作業を行う。

```
Slackware96 Linux Setup (version 3.1.0)
Welcome to Slackware Linux Setup.
Selec an option below using the UP/DOWN keys and SPACE or ENTER
Alternate keys may also be used: '+' , '-' , and TAB

HELP        Read the Slackware Setup HELP file
KEYMAP      Remap your keyboard if you're not using a US one
MAKE TAGS   Experts may customize tagfiles to preselect packages
ADDSWAP     Set up your swap partition(s)
TARGET      Set up your target partitions
SOURCE      Select source media
DISK SETS   Decide which disk sets
INSTALL     Instal selected disk sets
CONFIGURE   Reconfigure your Linux system
EXIT        Exit Slackware Linux Setup

< OK >          < Cancel >
```

図３　setup メインメニュー

```
# setup
```

インストーラが起動すると、メインメニュー（図３）が表示される。ここで、始めにADDSWAP を選択する。ADDSWAP を選択すると以後は、自動的にメインメニューの順にインストールのステップが進行する。

● ADDSWAP

スワップパーティションの設定を行う。ADDSWAP が実行されると、Linux swap パーティション(/dev/sda3)が検出されるのでスワップ領域として利用できるように設定する。

● TARGET

インストール先パーティションの選択を行う。TARGET が実行されると、Linux native (/dev/sda2)が検出されるので、ルートパーティションとして使用できるように設定を行う。

● SOURCE

Slackware をどの媒体からインストールするかを設定する。ここで、インストール元の媒体に、SCSI の CD-ROM ドライブを選択する。

● DISK SETS

ディスクセットとはインストールするソフトウェアの単位のことで、各ディスクセットはさらに細かい複数のパッケージから構成されている。ここでは、図４における○印のセットを選択する。

３．５　システムの環境設定

全てのディスクセットのインストールが終了すると、Linux のカーネルのインストール作業が行われる。ここでは、ブートディスクから HD へカーネルをインストールする。

● CONFIGURE

システムの各種設定を行う。設定は、次の順序で行われる。

■ MAKE BOOTDISK

ブートディスクの作成を行う。ここで作成した FD は、HD からの起動に失敗した場合に、FD からの起動用に使われる。

■ MODEM CONFIGURATION

モデムの設定を行う。ここで、モデムが

	セット	内　　容	備　　考
○	A	基本的な Linux システム（カーネル、コマンド）	＊ ○印のセットを選択した
○	AP	各種アプリケーション	
○	D	C , C++などのコンパイラや言語	
○	F	FAQ などのドキュメント	
○	K	カーネルソース	
○	N	ネットワーク関連	
○	X	X Window Systerm の基本システム	
○	XAP	X ウインドウのアプリケーション	
○	XD	X サーバの開発環境	
○	XV	XView	
○	Y	ゲーム等	
	E	GNU Emacs	JE の Mule をインストールするので、選択しない
	T	TEX , LATEX	JE の日本語 TEX をインストールするので、選択しない
	TCL	Tcl / Tk	JE の日本語 Tcl / Tk をインストールすので、選択しない

図４　ディスクセット

接続されているポート（デバイス名）を選択する。

◇モデムの設定を行わないを選択した。

■ MOUSE CONFIGURATION

マウスの設定を行う。マウスの種類と接続されているシリアルポートを選択する。

◇ここで、Com2 ポート、Mouse Systems Serial mouse を選択した。

■ SCREEN FONT CONFIGURATION

起動時に使用される画面フォントの設定を行う。設定を変更する場合は、フォント一覧から希望のフォントを選択する。

◇フォントは既定値のものを使用するので、変更しないを選択した。

■ LILO INSTRATION

LILO(Linux Loader)はブートローダと呼ばれるプログラムで、HD にインストールすることによって、Linux を HD から起動することができる。

◇ LILO を HD の MBR(Master Boot Record) 領域にインストールするを選択した。

■ NETWORK CONFIGURATION

PC がネットワークに接続されている場合、ここでネットワークの設定を行う。

◇ここで、HOSTNAME、DOMAIN NAME、LOOP BACK ONLY、LOCAL IP ADDRESS 、GATEWAY ADDRESS、NETMASK、NAMESERVER を設定した。

■ TIMEZONE CONFIGURATION

タイムゾーンは、計算機が置かれている地域の UTC(Coordinated Universal Time：世界協定時)に対する時差を指定するものである。

◇ここでは、Japan を選択した。

以上で、システムの環境設定は終了する。メインメニューから EXIT を選択して、インストーラを終了させる

FD ドライブから FD を抜き取って reboot コマンドを入力すると、HD から Linux が再起動する。

パッケージ	内　　容
base	基本ツール(lha,nkf,ish,less,jman 等)
gs	日本語 Ghostscript
mule	多国語エディタ Mule2.3
doc	日本語ドキュメント(JF 等)
Wnn	仮名漢字変換システム Wnn
Canna	仮名漢字変換システム Canna
sj3	仮名漢字変換システム sj3
net	ネットワーク関連(sendmail,mnews 等)
ptex	アスキー版日本語 TEX
font	TEX と XFree86 のフォント
xclt	X ウインドウの日本語クライアント Ikterm,tgif 等)
develop	開発環境

図５　JE のソフトウェアパッケージ

４　Linux使用環境の整備

４．１　日本語環境JEのインストール

JE（JE-0.9.8a）は日本語環境のソフトウェアのパッケージで、Slackware 等の英語 Linux 環境の上にインストールすることによって、日本語 Linux 環境を実現することができる。

ここで、JE のパッケージは、CD-ROM の packages ディレクトリ以下のサブディレクトリに、グループ分けされて収録されている（図５）。

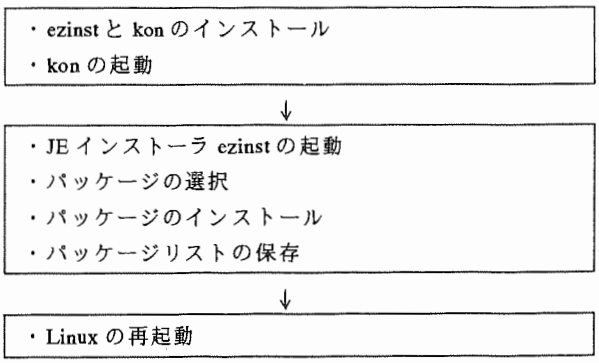


図６　JE のインストール手順

CD-ROM から JE をインストールする手順を、図６に示す。

JE のインストールには専用のインストールプログラム ezinst と kon（コンソール上で日本語を表示させるためのツール）を使用する。ここで、CD-ROM は/cdromディレクトリにマウントされているものとする。

ディレクトリを/cdrom/JE-0.9.8a/install に移動させ、次のコマンドを実行し ezinst と kon をインストールする。

```
# cd  /cdrom/JE-0.9.8a/install
#  . /jeinst.sh
```

次に、ここで Linux をインストールした PC に日本語 106 キーボードを使用しているので、キーマップの定義ファイル/etc/rc.d/rc.keymap に次の行を記述する。

```
loadkeys  j106-d
```

■ JEインストーラ ezinst の起動

日本語表示をさせるため kon を起動させ、次にディレクトリを/cdrom/JE-0.9.8a/packages に移動させ、ezinst を起動する。

```
#  kon
#  cd  /cdrom/JE-0.9.8a/packages
#  /sbin/ezinst
```

■パッケージの選択

ezinst が起動すると、起動を知らせるメッセージ画面が表示される。

ここでリターンキーを押すと、メインメニュー（図７）が表示されるので、これを順番に実行する。

```
<メインメニュー>
パッケージ選択（p）
インストール　（i）
終了　　　　　（q）
```

図７　ezinst のメインメニュー

パッケージ選択を実行すると、図８が表示される。ezinst では、パッケージの選択方法として「パッケージリスト」、「ルール」、「マニュアル」の３通りの方法が用意されている。ここでは、この中からパッケージリストを選択した。

```
<メインメニュー>
<パッケージ選択>
パッケージリスト　　（l）
ルール　　　　　　（r）
マニュアル　　　　（m）
選択内容を初期化する（i）
戻る　　　　　　　（q）
```

図８　パッケージの選択

図９　パッケージリスト

```
[ ]  primer.lst        Canna　ベース　パッケージリスト
[ ]  jperl.lst         61880 ［KB］
[■]  canbase.lst
[ ]  wnnbase.lst
                                  （BS：戻ります）
```

パッケージリストを実行すると、あらかじめパッケージが登録された、４種類のパッケージリスト（図９）が表示されるので、ここで canbase.lst を選択した。

■パッケージのインストール

パッケージの選択が終わったら、メインメニュー画面に戻って、インストールを実行する。

■パッケージリストの保存

メインメニュー画面から終了を選択すると、インストールしたパッケージを保存するかどうかの選択メニューに移るので保存を選ぶ。リストは/var/lib/ezinst/Lists ディレクトリ以下に保存される。

最後に、JE でインストールした各種デーモンを起動させるため、PC を再起動する。

４．２　X Window の設定

X Window は、UNIX の世界で標準となっている Window システムで、マルチウインドウをサポートしたユーザインターフェースである。

X Window は１９８４年 MIT（マサチューセッツ工科大学）で開発が始まり、現在は X コンソーシアムという組織によって機能拡張が進められている。

Linux 用の X Window としては、The XFree86 Project Inc.によって開発された XFree86 があり、フリーのソフトウェアとして配布されている。

ここでは、XFree86（XFree86-3.1.2）の設定を行う。XFree86 は Slackware のインストーラ setup の実行によって、PC のビデオカードの種類に対応したものが、すでに HD にインストールされている。

XFree86 の X サーバの設定は、XF86Config ファイルで行われる。このファイルは通常 xf86config コマンドで生成し、必要があればエディタでファイルに修正を加える。

```
# xf86config
```

上記のように、xf86config コマンドを起動する。ここからは、対話形式でファイルの各設定が行われる。各設定項目を以下に示す。

■マウスの設定

・使用しているマウスに合わせて、表示されたリストから選択する。

・２ボタンマウスで、３ボタンマウスのエミュレーションを行うかどうかを選択する。

・マウスのスペシャルファイル（マウスのデバイス）の指定をする。

■モニターの設定

・使用するモニターの、水平同期および垂直同期の周波数範囲を、リストから選択する。

・モニターの識別名、メーカー名、機種名を指定する。

■ビデオカードの設定

・使用するビデオカードを、リストから選択する。

・どの X サーバを使用するかを、リストから選択する。

・ビデオカードのメモリ容量を、リストから選択する。

・ビデオカードの識別名、メーカー名、機種名を指定する。

・クロックジェネレータを、リストから選択する。

■表示色数と解像度の設定

・使用したい X サーバの表示色数と解像度をリストから選択する。

■ XF86Config ファイルの出力先の指定

・XF86Config ファイルを、どこに保存する

かを指定する。ここでは/etc/XF86Configに保存した。

以上でXFree86の設定は終了する。

4．2．1　X Windowの起動と終了

X Windowを起動させるには、startxスクリプトを実行する。また、X Windowを強制終了させるには、［Ctrl］+［Alt］+［BS］キーを押す。

```
# startx
```

起動がうまくいくと、X Windowが表示されるので、マウスの動作の確認や画面の表示状態を確認する。

画面は表示されるがノイズが発生している場合や、画面の位置が大きくずれている等の場合は、ドキュメントファイルを読んだ上で、エディタでXF86Configファイルを修正することが必要になる。また、xvidtuneコマンドを使って、画面の位置等を調整することもできる。XF86Configファイルを修正した場合、その結果を表示に反映させるためにはX Windowを起動し直すことが必要になる。これで問題がなければ、Xの設定は終了となる。

ここで、X Windowが起動しなかった場合、起動時の画面表示をチェックし、ドキュメントファイルを読んだ上で、xf86configコマンドを再度実行してみる。また、Xサーバを調査モードで起動させ、XF86Configファイルの記述エラーを画面に表示させることもできる。

```
# X -probeonly
```

これらの情報を活用して、XF86Configファイルを生成し直すか、または直接エディタでファイルを修正し、再度X Windowの起動を確かめることが必要になる。

5　参考文献

[1] はね　ひでや 他著：Run Run Linux、第2版、アスキー出版局

[2] 小山裕司 他著：Linux 入門、株式会社トッパン

[3] 米田　聡：PC UNIX 活用教本Ⅰ、ソフトバンク株式会社

[4] 小林直行：Linux 活用入門、CQ出版社

有限要素法(三次元解析)による寒冷地防波堤コンクリート構造物のひび割れ対策の検討

土木開発工学科　岡田　包儀

1 序論

1.1 技術報告概要

本技術研究は,防波堤コンクリート構造物の温度ひび割れについて汎用型構造解析システムにより解析・検討を行い今後のひび割れ制御に対して技術的対策の検討を行ったものである。

1.2 構造解析システム

構造解析システムについては,北見工業大学地域共同研究センターに設置されている汎用型有限要素法構造解析システム(MARC ver.K6-1-L)を使用した。また,入力データファイル作成及び出力結果の後処理にプリポストプロセッサー(MENTATⅡ ver.213)を使用した。

2 技術研究内容

2.1 技術研究の目的

今日,寒冷地における防波堤等のマッシブなコンクリート構造物は施工時の温度ひび割れを抑制し冬季における凍害および海水に対する化学的作用等に対して十分な耐久性を確保することが必要である。本研究は,寒冷地において耐久性を前提とした配合条件でコンクリート構造物の温度ひび割れの制御技術確立に向けた一資料を提案することを目的とした。

2.2 技術研究方法概要

技術研究方法のフローチャートを図-1に示す。

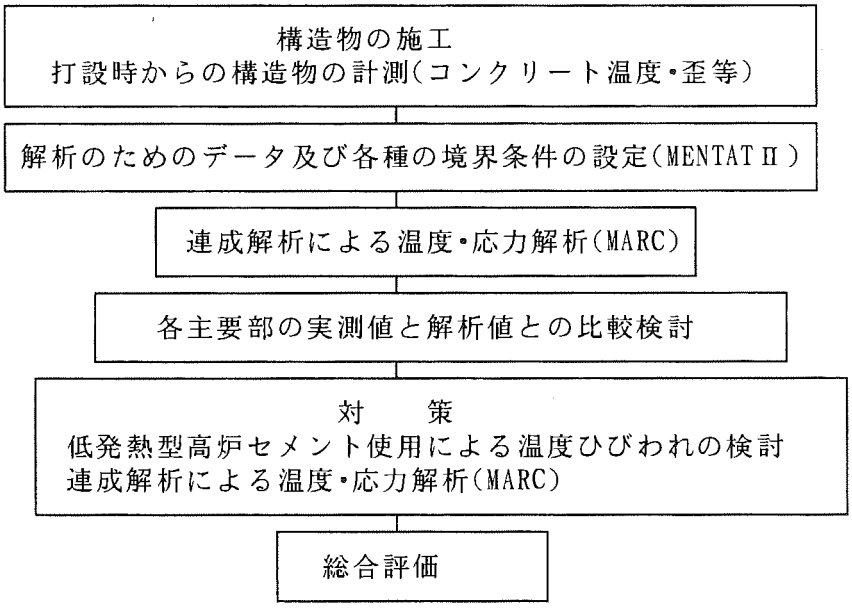


図-1 技術研究方法のフローチャート

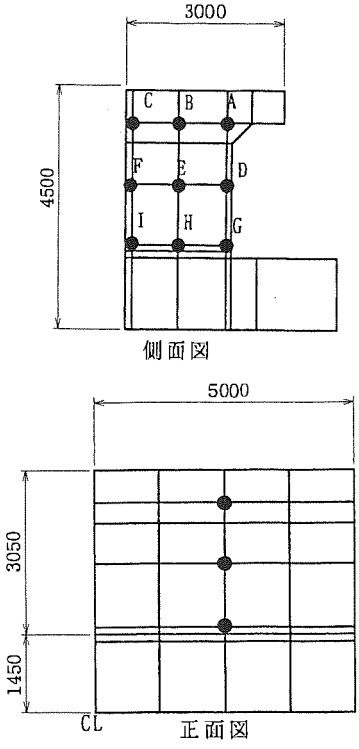


図-4 計測センサー配置図

2.3 解析方法

2.3.1 解析断面のおよび要素の決定

解析を実施した防波堤の標準断面図を図-2に,解析断面の要素分割図を図-3に示す。

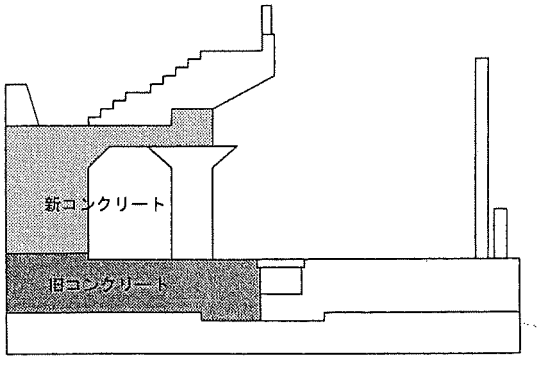


図-2 防波堤の標準断面図

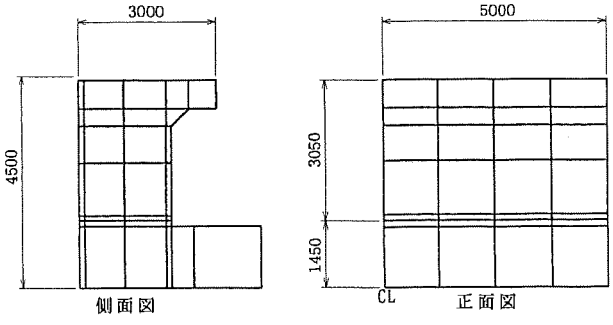


図-3 解析断面の要素分割図

本解析は三次元解析とするため要素は全て六面体要素とした。要素を作成する際，要素接点は温度センサー・歪センサーの設置箇所と接点が重なるようにした。新コンクリートに埋め込まれたセンサーの位置を図-4に示す。

接点数:230，要素数:124，リフト数:1

2.3.2 コンクリートの配合及び各物性値

2.3.2.1 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合表

単　位　量 (kg/m³)				
セメント (高炉ｾﾒﾝﾄB種)	水	細骨材	粗骨材 (最大寸法40mm)	混和剤 (AE減水剤)
295	137	804	1071	1.106
水セメント比:46.5%,　細骨材率:42.9%,				

2.3.2.2 コンクリートの初期温度，材料の密度及び熱特性値

表-2 コンクリートの初期温度，材料の密度及び熱特性値

	初期温度	比　熱	熱伝導率	密　度
	(°C)	(kcal/kg°C)	(kcal/mh°C)	(kg/m³)
新コンクリート	22.5	0.25	2.2	2308
旧コンクリート	17.0	0.25	2.2	2308

2.3.2.3 断熱温度上昇

使用したコンクリートの断熱温度上昇試験により次式の断熱温度上昇式を算定した。

$Q(t)=43.6(1-EXP(-0.760*t))$　　断熱温度上昇式

Q:断熱温度上昇量(°C)，t:時間

2.3.2.4 外気温及び熱伝達率

外気温(図-5)は，14:00の温度とし上部，内湾側，外湾側それぞれ実測値を用いた。

熱伝達率は，養生条件・型枠種類の相違・各面の風速の違い等から表-3に示す値を設定した。

表-3　各部材面の熱伝達率

材　齢 (日)	熱　伝　達　率 (kcal/m²h°C)				
	内湾側	外湾側	上部側	右側面側	左側面側
0 ～ 6	2.2	12.0	12.0	2.2	-(対称断面)
6 ～ 7	2.2 ～5.0	12.0～10.0	12.0～10.0	2.2	-(対称断面)
7 ～ 28	5.0	10.0	10.0	2.2	-(対称断面)

2.3.2.5 機械的定数

機械的定数は次の値とした。

熱膨張係数:$10*10^{-6}$/°C，ポアソン比:0.20

弾性係数は，クリープの影響を考慮して次式により有効弾性係数を算出した。

$Ee(t)=\phi(t)*1.5*10000*(f'c(t))^{0.5}$

Ee(t):材齢t日における有効弾性係数(kgf/cm²)

$\phi(t)$:弾性係数の補正係数, $f'c(t)$:材齢t日における圧縮強度の推定値(kgf/cm²)
各材齢における有効弾性係数を表-4に示す。

表-4 各材齢における有効弾性係数

	材齢						
	4日	8日	12日	16日	20日	24日	28日
圧縮強度 (kgf/cm²)	128	187	220	242	257	268	277
有効弾性係数 (kgf/cm²)	147019	204985	222531	233186	240361	245533	249438

2.3.3 解析手法

2.3.3.1 温度解析における基本式

温度解析における基本式は,セメントの水和熱を考慮した非定常の熱伝導式となる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda c}{Cc\rho c}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \frac{dQ(t)}{dt}$$

T:コンクリート温度(°C), t:時間(h), Q:断熱温度上昇量(°C)
λc:熱伝導率(kcal/mh°C), C_c:比熱(kcal/kg°C), ρ_c:密度(kg/m³)

2.3.3.2 連成解析

熱と応力の連成解析は,熱伝導問題と機械的問題を交互に解く方法により行われる。最初に熱伝導問題が解かれ,その後で応力解析が行われる。

2.3.3.3 解析方法

解析は,三次元の断面において弾性解析を行った。
解析時間は,材齢28日間とした。
なお,応力解析において本システムでは温度応力が直接出力されないため,全歪(Total strain)を採用した。
全歪(Total strain) = 弾性歪(Elastic strain) + 熱歪(Thermal strain)
また,全歪は発生するひび割れが実際にy方向に起きるためz方向歪の値を算出した。

2.3.3.4 解析システムのプリポストプロセッサー操作手順

解析システムのプリポストプロセッサー(MENTATⅡ)の操作手順を図-6に示す。

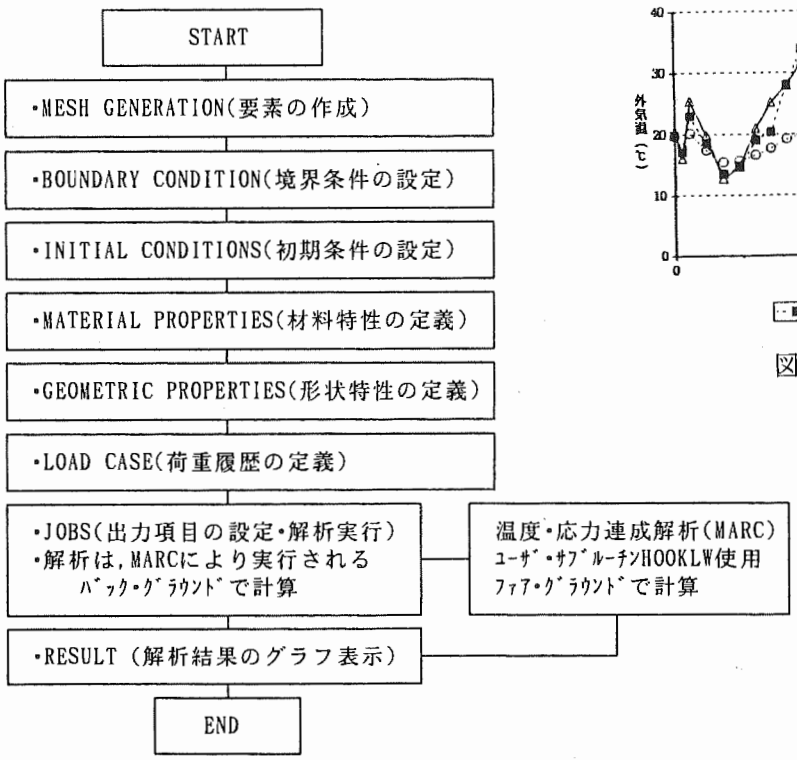


図-6 プリポストプロセッサー(MENTATⅡ)操作手順

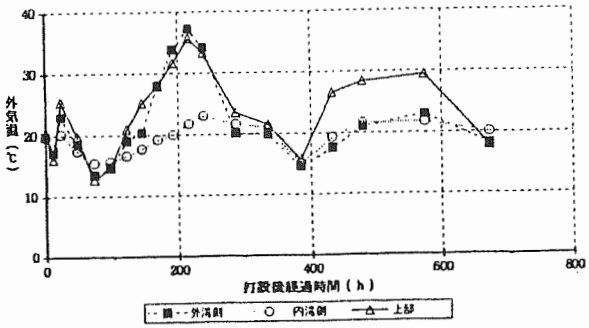


図-5 各部位の外気温

2.3.4 ひび割れの検討方法

温度ひび割れの検討にあたっては次式により温度ひび割れ指数によって評価をおこなった。

温度ひび割れ指数　$Icr(t)=ft(t)/\sigma t(t)$

$ft(t)$:材齢t日におけるコンクリートの引張強度(kgf/cm^2)

$\sigma t(t)$:材齢t日における水和熱に起因して生じた部材内の温度応力の最大値(kgf/cm^2)

2.4 解析結果

2.4.1 温度解析結果

測定箇所の温度実測値と温度解析値の結果を図-7に示す。

温度解析結果の次のことが明かとなった。

①解析値は全体的にほぼ実測値(最大7～8°C程度)に近い値となった。特に,温度応力に影響を与える断面中央部での最高温度が実測値とほぼ同じ値(E点:2°C程度の誤差)であった。

2.4.2 応力解析結果

測定箇所の歪実測値と歪解析値の結果を図-8に示す。

歪解析結果の次のことが明かとなった。

①実測値と解析値の歪の時間的な傾向はほぼ同じ傾向を示した。

②温度ひび割れに影響を及ぼす引張歪に着目した場合,実用上解析値を採用してひび割れの概略を予測することは可能である。

③ひび割れ発生時期について断面全体では材齢初期から材齢14日程度(材齢14日の最大値,D点:温度ひび割れ指数=1.3)の間に発生したといえる。

④今回計測を行った防波堤の長手方向1/4断面表面部(内湾側)において縦方向にひび割れが発生したが,解析結果も同位置(D点)で最大の引張歪が生じる結果となった。

2.5 今後の対策

2.5.1 ひび割れ状況と対策の検討

今ケースにおいては,防波堤長手方向の1/4断面表面部で縦方向に温度ひび割れが発生した。(材齢40日で内湾側観察の結果,ひび割れ幅0.15mm,0.08mm,0.04mmの計3本)この為美観を重視する構造物であることから温度ひび割れをさらに抑制する対策が必要となった。

今回実施工で採用した対策として,混和材に膨張材を使用して打設を行っておりその結果,温度ひび割れがかなり抑制することができた。今後の対策として発熱抑制型セメントや今回使用した膨張材等の混和材を使用することは有効といえる。

2.5.2 対策として低発熱型高炉セメントの使用を想定した場合の解析条件および解析結果

今回温度ひび割れ対策検討ケースとしてコンクリートの耐久性に配慮した配合で近年開発された低発熱型高炉セメントを用いて温度応力解析を実施した。

2.5.2.1 解析に使用した資料の配合・圧縮強度および断熱温度上昇式

単位セメント量=300kg/m³,

圧縮強度(3日=146kgf/cm²,7日=241kgf/cm²,28日=392kgf/cm²,91日=520kgf/cm²)

低発熱型高炉セメントの断熱温度上昇式は次式による。

$Q(t)=38.7(1-EXP(-0.88*t))$　　断熱温度上昇式

なお,他の境界条件等は同一値とした。

2.5.2.2 低発熱型高炉セメントの温度応力解析結果

低発熱型高炉セメント温度解析結果を図-9に示し歪解析結果を図-10に示す。

温度応力解析の結果次のことが明かとなった。

①コンクリートの中央部最高温度(E点)は,高炉セメントの解析値と比較して12°C程度低下しかなりの温度抑制効果がみられた。

②歪については,最大になる防波堤長手方向の1/4断面表面部(D点)で高炉セメント解析値と比較して30%程度歪が低下し$237*10^{-6}$程度となり歪抑制効果が見られた。

③温度ひび割れ指数について検討結果,初期材齢(2～5日) において最大になる防波堤長手方向の1/4断面表面部(内湾側:D点)で高炉セメントが,0.4程度となり低発熱型高炉セメントの場合0.6程度となりひび割れ抑制効果が見られた。

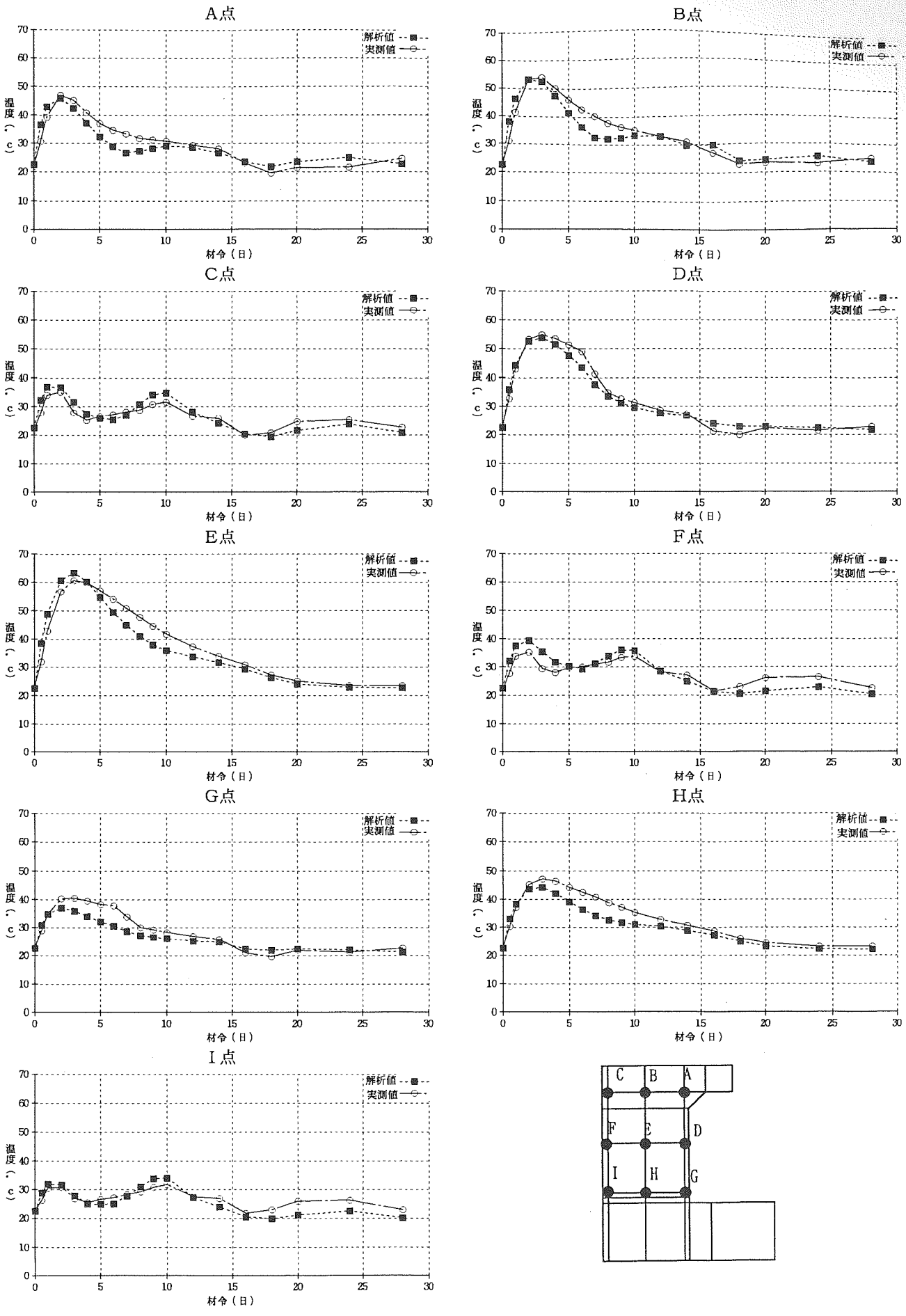


図-7　温度解析値と温度実測値の比較図（高炉セメント）

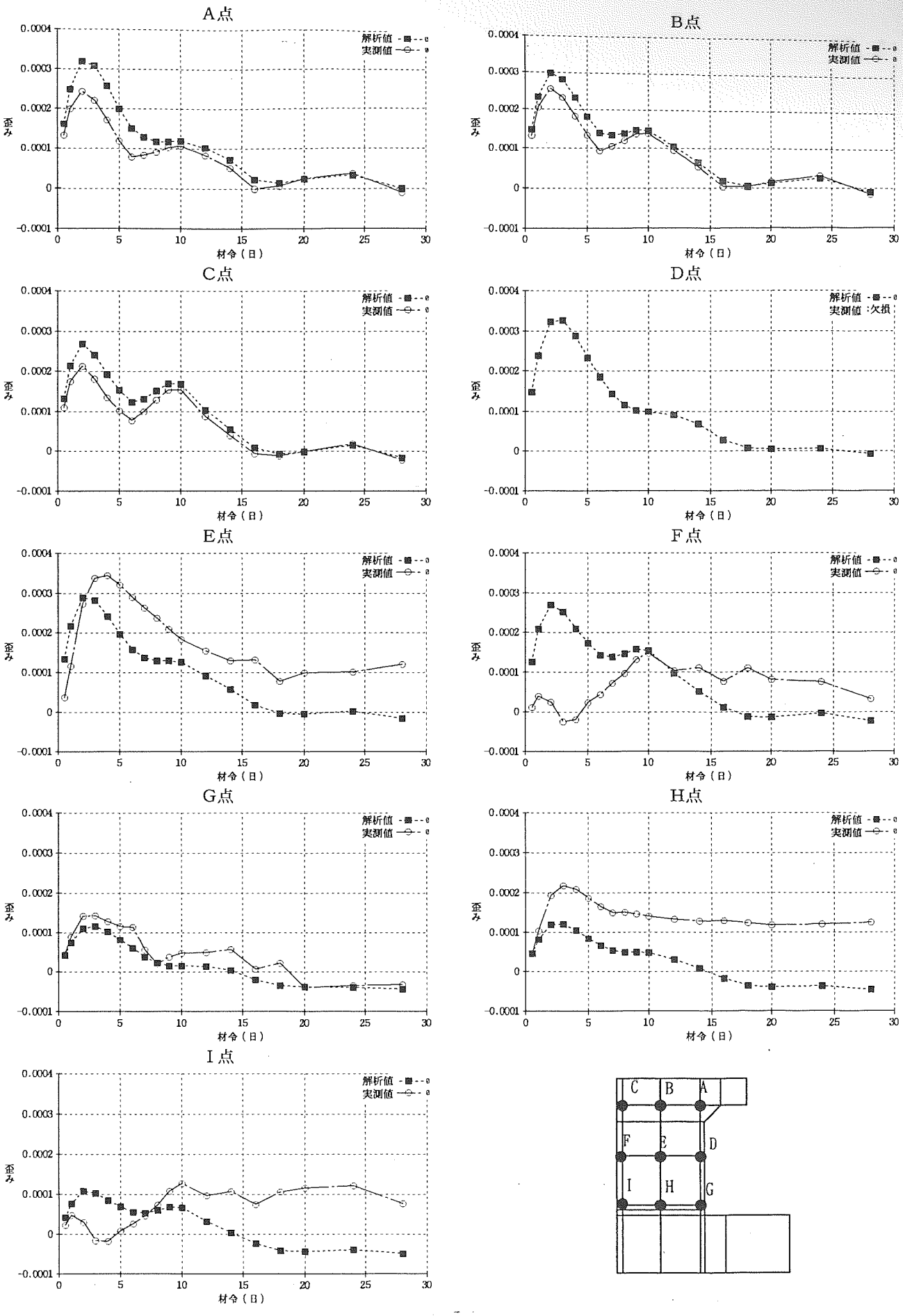


図-8　歪解析値と歪実測値の比較図（高炉セメント）

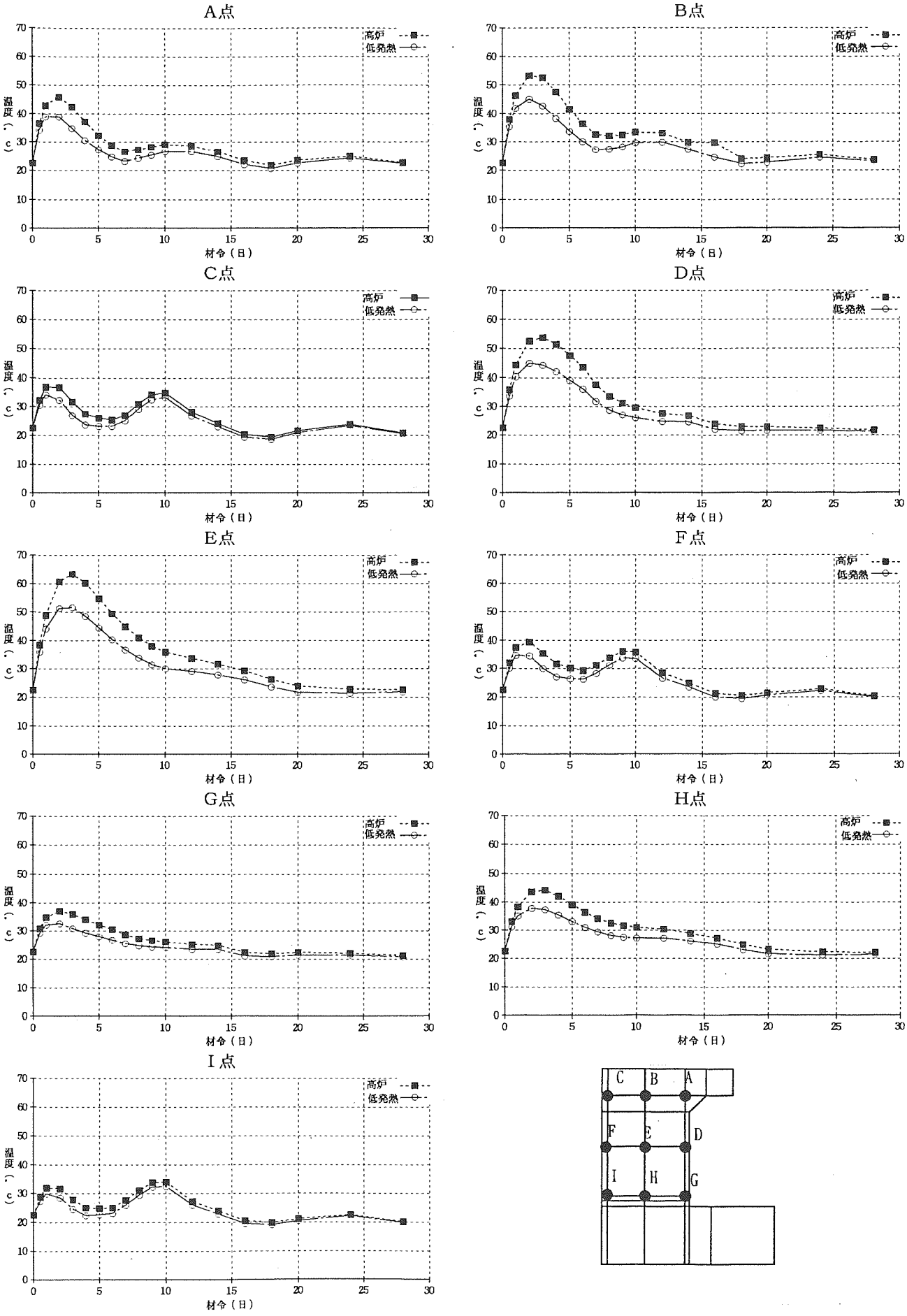


図-9　低発熱型高炉セメントと高炉セメントとの温度解析値の比較図

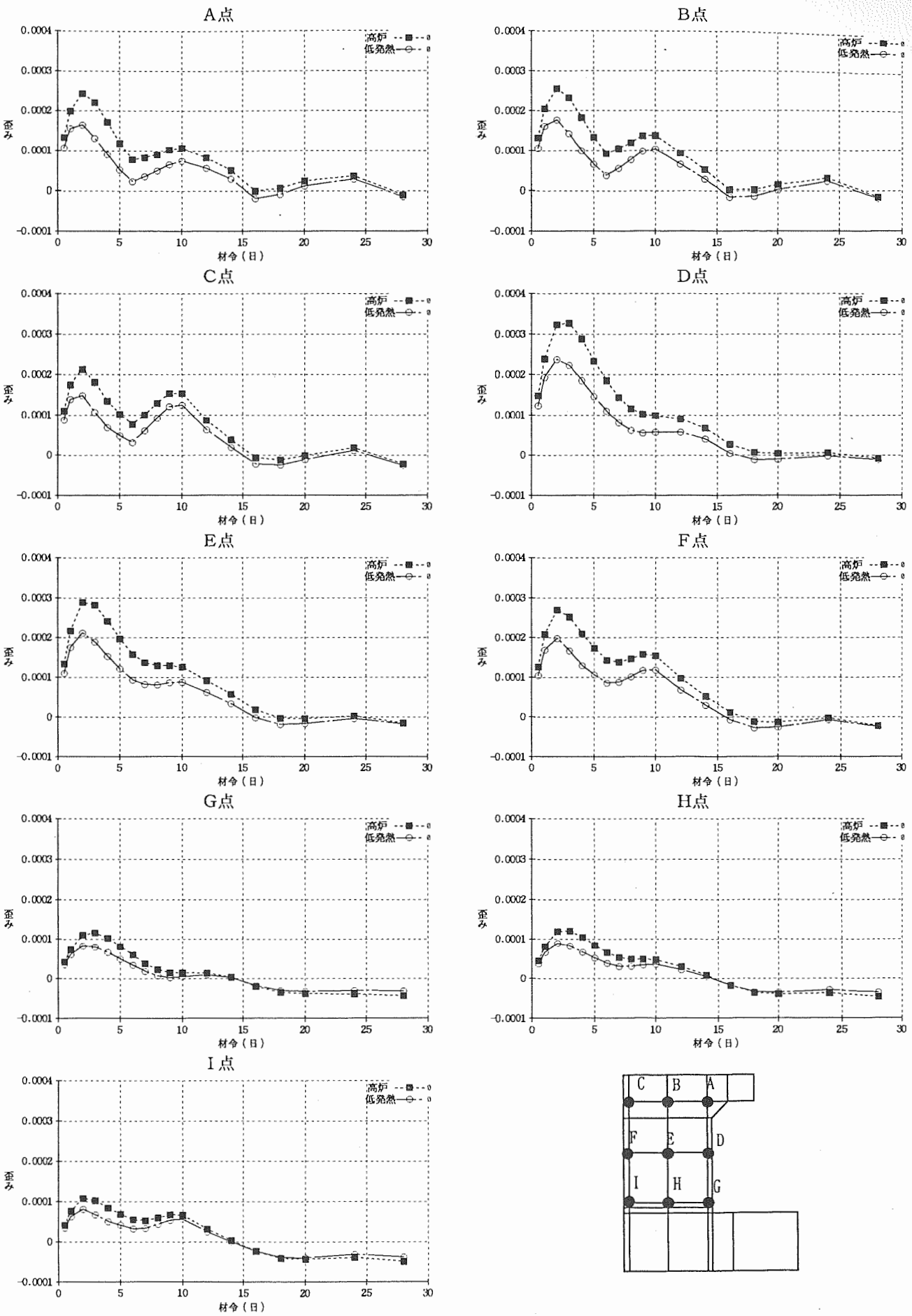


図-10 低発熱型高炉セメントと高炉セメントとの歪解析値の比較図

2.6 結論

本技術研究において次のことが明かとなった。

①温度解析結果については，全体的にほぼ実測値に近い値となった。

今後の温度解析において外気温等でコンクリートの内部温度を概略予測することが可能である。

②応力解析結果については，実測値と解析値の歪の時間的な傾向はほぼ同じ傾向を示した。また，温度ひび割れに影響を及ぼす引張歪に着目した場合，実用上解析値を採用してひび割れの概略を予測することは可能である。

③今回計測を行った防波堤のひび割れ発生時期については，材齢初期から材齢14日程度(材齢14日の最大値，D点：温度ひび割れ指数=1.3)の間に発生したといえる。

④今回計測を行った防波堤の長手方向1/4断面表面部(内湾側)において縦方向にひび割れが発生したが，解析結果も同位置(D点)で最大の引張歪が生じる結果となった。

⑤寒冷地において温度ひび割れ対策として低発熱型高炉セメントを用いることは，温度ひび割れ抑制に対して効果がある。なお，今ケースにおいてひび割れ防止のためにはさらなる対策を併用することが必要となる。

3 総論

構造物の温度ひび割れについて汎用型構造解析システムにより解析，検討を行い今後のひび割れ制御に対して技術的対策の検討を行ったが，実用上本システムが温度ひび割れ解析に対して有効に活用できるといえる。

4 謝辞

本技術研究は，北見工業大学コンクリート基礎学研究室と㈱西村組(吉田 稔氏，井上 美幸氏，山角 浩一氏)との共同研究の一貫として実施したものである。なお，解析にあたり構造解析システムに関しては日本マーク㈱の鈴木 健太郎氏の指導を受けた。また，防波堤の計測にあたっては㈱エーティックが実施した。ここに感謝する。

直交変換を用いた画像情報圧縮

情報システム工学科　　奥山 圭一

1．はじめに

多くの画素数からなり、画素値が8ビット以上のレベルからなるディジタル画像は、一般に膨大なデータ量をもつため、画像情報圧縮が必要となる。画像圧縮は、可逆圧縮と不可逆圧縮の2つに大別される。可逆圧縮は、元の画像を完全に再生するが、圧縮率は低い。一方、不可逆圧縮では、元の画像情報の一部が損なわれるため、完全には再生されないが、その分高い圧縮が得られる。

不可逆圧縮は、画像の平坦部における輝度レベル変化に対しては鋭敏であり、急激な輝度変化を示すエッジに対してはさほど鋭敏ではないという人間の視覚特性を利用することによって高い圧縮を達成する。この特性は画像情報圧縮の国際標準方式であるJPEG（Joint Photographic Expert Group）においても利用されている。

JPEGでは画像を8×8ブロックに分割し、このブロックに離散コサイン変換（Discrete Cosine Transform）を適用するが、ブロックノイズと呼ばれるブロック境界での不連続が発生する。

このため、離散コサイン変換とは異なる特性をもつ離散サイン変換（Discrete Sine Transform）および離散ハートリー変換（Discrete Hartly Transform）を用いて医用画像に対する圧縮を試み、ブロックノイズに対する効果を調べた。

2．直交変換を用いた画像圧縮の方法

本研究における直交変換を用いた圧縮・再生のプロセスを図1に示す。

圧縮のプロセスは、最初に、元の画像データを8×8画素のブロック $f(x,y)$ に分割して2次元直交変換を

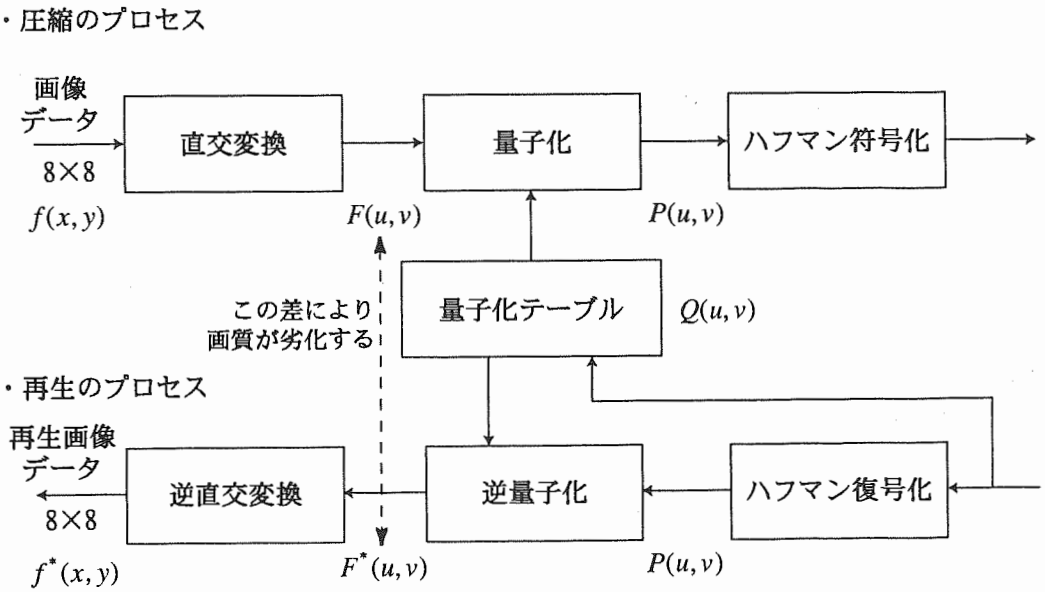


図1　直交変換を用いた画像圧縮・再生のプロセス

行い、変換係数$F(u,v)$を求める。この変換係数$F(u,v)$に対して逆直交変換を行えば、元のブロック $f(x,y)$ が完全に再生されるが、高い圧縮率は得られない。そこで、2番目に、高い圧縮率を得るため、人間の視覚特性を利用し、急激な輝度変化を示す高周波数成分を量子化処理によって削減する。量子化は、あらかじめ設定した量子化テーブル$Q(u,v)$を用いて行い、量子化された係数$P(u,v)$は

$$P(u,v)=\frac{F(u,v)}{k\cdot Q(u,v)} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot(1)$$

という関係式から求められる。ここで、kはテーブル$Q(u,v)$を修正する正の実数である。この式から明らかなように、$P(u,v)$は$k\cdot Q(u,v)$によって決定され、後で示すように、実際に再生画像の画質は$k\cdot Q(u,v)$に依存する。最後に、$P(u,v)$をハフマン符号を用いて符号化する。

再生のプロセスは圧縮のプロセスの逆であり、まず最初に、符号化されたデータ系列に対しハフマン復号化を行い、係数$P(u,v)$を取り出す。2番目に、圧縮と同じ量子化テーブル$Q(u,v)$を用いて$P(u,v)$を逆量子化し、逆量子化係数$F^*(u,v)$を求める。逆量子化は

$$F^*(u,v)=P(u,v)\cdot k\cdot Q(u,v) \quad \cdot\cdot\cdot\cdot(2)$$

という関係式によって表される。最後に、$F^*(u,v)$に対して逆直交変換を行うことによって再生画像$f^*(x,y)$を得る。

再生画像は、量子化によって高周波数成分を削減したため、元の画像$f(x,y)$とは同一とはならない。これを不可逆圧縮という。

直交変換と量子化については、次に説明する。

2.1. 直交変換

直交変換は分割した8×8画素のブロックに対して行う。直交変換として2次元離散コサイン変換、サイン変換ならびにハートリー変換を用いた。離散コサイン変換は画像圧縮の国際標準方式であるJPEGにおいて採用されている。直交変換ならびに逆直交変換を以下に示す。

・離散コサイン変換

$$F(u,v)=\frac{1}{4}C(u)C(v)\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}f(x,y)\cos\frac{\pi(2x+1)u}{16}\cos\frac{\pi(2y+1)v}{16} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot(3)$$

ただし、

$$C(u),C(v)=\begin{cases}\frac{1}{\sqrt{2}}(u,v=0)\\ 1(u,v\neq 0)\end{cases}$$

・逆離散コサイン変換

$$f(x,y)=\frac{1}{4}\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}F(u,v)\cos\frac{\pi(2x+1)u}{16}\cos\frac{\pi(2y+1)v}{16} \quad \cdot\cdot\cdot\cdot(4)$$

・離散サイン変換

$$F(u,v)=\frac{2}{9}\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}f(x,y)\sin\frac{\pi(x+1)(u+1)}{9}\sin\frac{\pi(y+1)(v+1)}{9} \quad \cdots\cdot(5)$$

・逆離散サイン変換

$$f(x,y)=\frac{2}{9}\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}F(u,v)\sin\frac{\pi(x+1)(u+1)}{9}\sin\frac{\pi(y+1)(v+1)}{9} \quad \cdots\cdot(6)$$

・離散ハートリー変換

$$F(u,v)=\frac{1}{8}\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}f(x,y)\,\mathrm{cas}\frac{\pi(ux+vy)}{4} \quad \cdots\cdot(7)$$

・逆離散ハートリー変換

$$f(x,y)=\frac{1}{8}\sum_{x=0}^{7}\sum_{y=0}^{7}F(u,v)\,\mathrm{cas}\frac{\pi(ux+vy)}{4} \quad \cdots\cdot(8)$$

ただし、

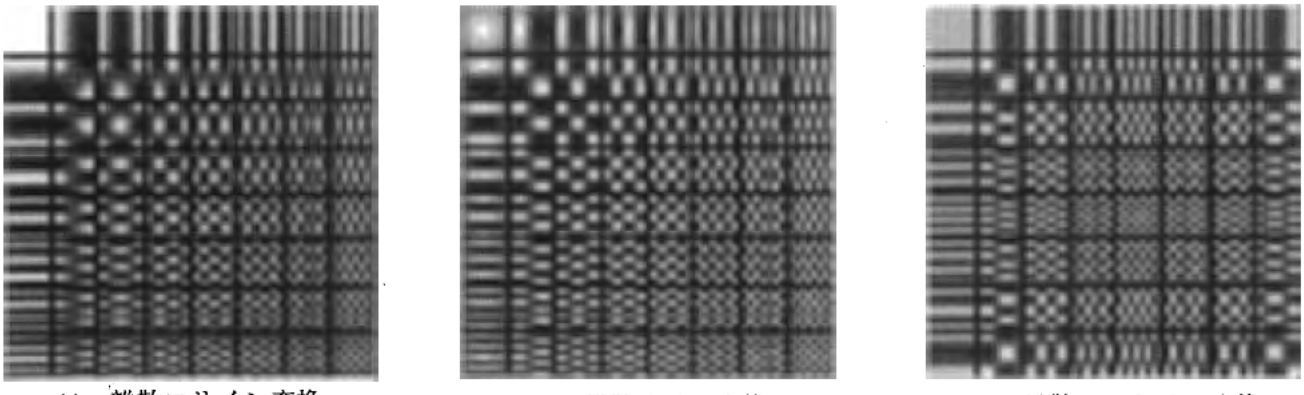
$$\mathrm{cas}\,\theta=\cos\theta+\sin\theta$$

直交変換の基底画像を図2に示す。それぞれ図の左上は係数$F(0,0)$、右下は係数$F(7,7)$に対応している。コサイン変換では、$F(0,0)$が直流成分で、8×8ブロックの平均値を示す。また、左から右に進むにつれて高周波の水平周波数成分を、上から下に進むにつれて高周波の垂直周波数成分を示す。サイン変換においては、コサイン変換と異なり$F(0,0)$は平均値を示さないが、これ以外の係数の周波数特性はコサイン変換に類似している。ハートリー変換は、コサイン変換と同様に$F(0,0)$がブロックの平均値で、直流成分を示す。しかし、他の2つと異って高周波数成分が中央付近に集中している。

2.2. 量子化

変換係数$F(u,v)$の量子化は、上で述べたように量子化テーブル$Q(u,v)$と正数kを用いて以下のように行う。

$$P(u,v)=\frac{F(u,v)}{k\cdot Q(u,v)} \quad \cdots\cdot(9)$$



(a) 離散コサイン変換　(b) 離散サイン変換　(c) 離散ハートリー変換

図2　直交変換の基底画像

正数kと量子化テーブル$Q(u,v)$の値が大きいほど高い圧縮が得られる。

係数$P(u,v)$に対する逆量子化を次のように行い、逆量子化係数$F^*(u,v)$を求める。

$$F^*(u,v) = P(u,v) \cdot k \cdot Q(u,v) \quad \cdots\cdot (10)$$

表1に使用した量子化テーブル$Q(u,v)$を示す。低周波数成分に比べて高周波数成分をより多く削減するため、表1のテーブルにおいては高周波数成分に対応する右下部分に大きな値が設定されている。このテーブルはJPEGで用いられている量子化テーブルである。

表1　量子化テーブル　$Q(u,v)$

$$\begin{bmatrix} 16 & 11 & 10 & 16 & 24 & 40 & 51 & 61 \\ 12 & 12 & 14 & 19 & 26 & 58 & 60 & 55 \\ 14 & 13 & 16 & 24 & 40 & 57 & 69 & 56 \\ 14 & 17 & 22 & 29 & 51 & 87 & 80 & 62 \\ 18 & 22 & 37 & 56 & 68 & 109 & 103 & 77 \\ 24 & 36 & 55 & 64 & 81 & 104 & 113 & 92 \\ 49 & 64 & 78 & 87 & 103 & 121 & 120 & 101 \\ 72 & 92 & 95 & 98 & 112 & 100 & 103 & 99 \end{bmatrix}$$

3.　結果および考察

離散コサイン、サインならびにハートリーの3種類の直交変換を用いて、圧縮・再生を試みた。量子化においては式(9)のkとして$k=1$ならびに$k=2$を使用した。量子化テーブルは表1のを使用した。対象とした画像は、図3に示す画素数256×256で画素値8ビットの肝核医学画像である。

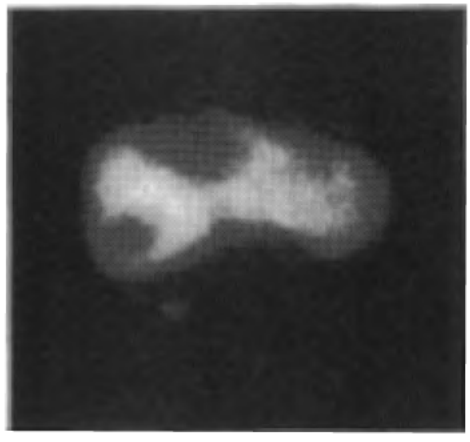
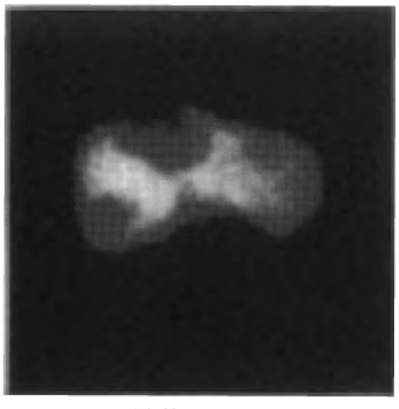


図3　肝核医学画像

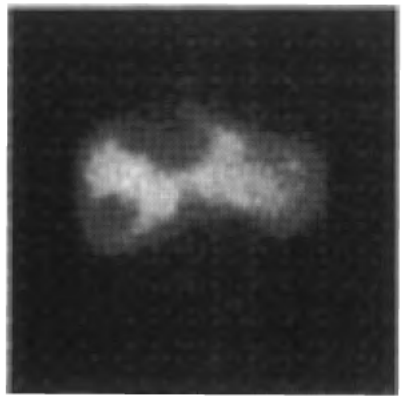
図4(a)から(c)に$k=1$のときの3種類の直交変換による再生画像を示す。コサイン変換ではブロックノイズは観察されないが、ハートリー変換では顕著にみられる。サイン変換ではブロックノイズはみられないが規則的なアーチファクトが観察される。

図5(a)から(c)に$k=2$のときの3種類の直交変換による再生画像を示す。コサイン変換では、$k=1$のときにみられなかったブロックノイズが観察された。ハートリー変換とサイン変換はそれぞれブロックノイズやアーチファクトが一層鮮明にみられ、$k=1$のときより画像の劣化が著しい。

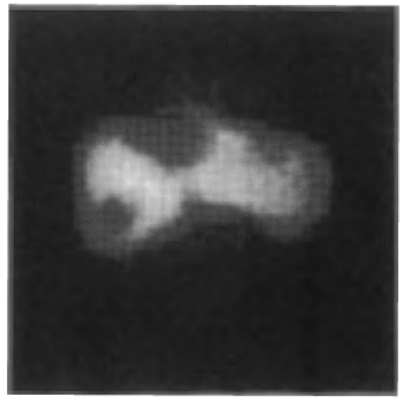
再生画像の劣化は、使用した直交変換に関わりなく、$k=1$の場合より$k=2$の方が顕著であった。これは量子化の式(9)から明らかなように、kが大きいほど元の画像の周波数成分、とりわけ高周波成分がより多



(a)　離散コサイン変換

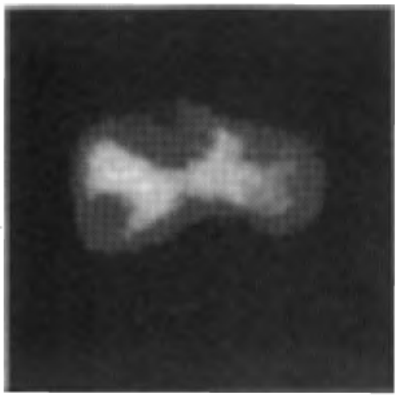


(b)　離散サイン変換

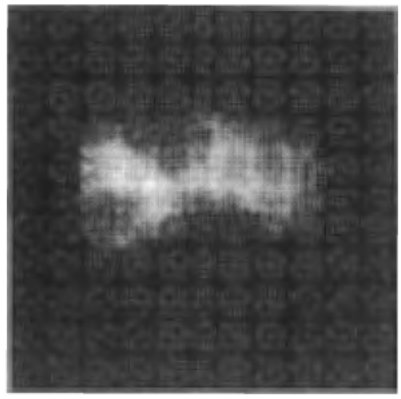


(c)　離散ハートリー変換

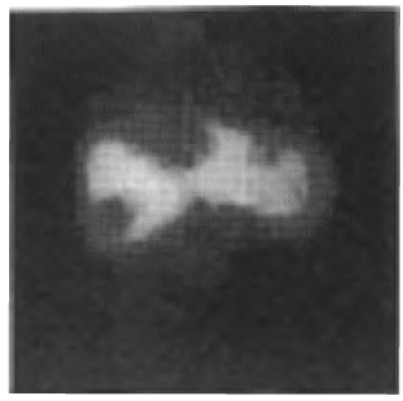
図4　再生画像　$k=1$



(a) 離散コサイン変換



(b) 離散サイン変換



(c) 離散ハートリー変換

図5 再生画像 $k=2$

く削減されることによる。このため、コサイン変換でも、$k=2$の場合には図5(a)に示すようにブロックノイズが確認された。

サイン変換ではブロックノイズはみられなかったが、アーチファクトが観察された。これは、コサイン変換向けに作成された量子化テーブルをそのまま用いたためと考えられる。サイン変換の周波数特性に適合した量子化テーブルを考案することによって、このアーチファクトの除去が期待される。

ハートリー変換においては、コサイン変換に比べて鮮明にブロックノイズが観察された。サイン変換同様にハートリー変換の周波数特性に適合した量子化テーブルを考案することが必要である。

4. 結語

JPEGでは離散コサイン変換が使用されているが、この変換はブロックノイズを発生させるという欠点があった。このため、異なる周波数特性を持つ離散サイン変換と離散ハートリー変換を用いて、医用画像に対する圧縮を試み、ブロックノイズに対する効果を調べた。

サイン変換においてはブロックノイズは観察されなかったが、アーチファクトが発生した。ハートリー変換においてはコサイン変換よりも鮮明なブロックノイズが確認された。いずれもコサイン変換に適合した量子化テーブルを修正なく使用したことに起因する。

今後の課題は、使用する直交変換の周波数特性に適合した量子化テーブルを考案することである。

〔参考文献〕

- 原島 博，画像情報圧縮，オーム社（1991）
- インターフェース（1991.12）
- K. R. Rao, and P. Yip, Discrete Cosine Transform Algorithms, Advantages, Applications, Academic Press（1990），安田 浩，藤原 洋 共訳，画像符号化技術—DCTとその国際標準—，オーム社（1992）
- W. B. Pennebaker, and J. L. Mitchell, JPEG Still Image Data Compression Standard, Van Nostrand Reinhold（1993）
- M. Nelson, The Data Compression Book, M&T Publishing（1992），荻原 剛志，山口 英 共訳，データ圧縮ハンドブック，トッパン（1994）
- 安田 浩，渡辺 裕，ディジタル画像圧縮の基礎，日経BP出版センター（1996）
- 黒田 英夫，画像符号化技術，昭晃堂（1996）

技術実習テキスト及び受講者

技術実習 I　Mohr 法による塩化物イオンの沈殿滴定

指導担当者	橋本晴美	信山直紀
受講者	猪狩平三郎	大森誠一
	岡田包儀	小畑芳弘
	佐藤敏則	白川和哉
	杉山道義	布川　裕
	久松　茂	土方正範
	山田洋文	輪島秀則

技術実習 II　トラバース測量実習

指導担当者	相田雅輝	平田広昭
	平松雅宏	
受講者	阿部　清	宇野珠実
	大内　均	奥山圭一
	小竹正敏	菅原洋子
	杉野　豪	堂田誠治
	遠国秀昭	徳田　奨
	長谷川　稔	百武欣二
	松田弘喜	森脇幸伸
	山田忠永	山根美佐雄

Mohr法による塩化物イオンの沈澱滴定

――――身近な食品の塩化物イオンから食塩濃度を測定する。

担当　　化学システム工学科　　橋本 晴美　　信山 直紀

1.はじめに

物質の含有量を測定する定量分析は化学系の研究に限らず、他の研究分野でも広く行われている。
そこで今回の実習では数種類のガラス器具、標準溶液、指示薬などで数多くの物質の定量分析が可能な滴定分析を行うことにした。滴定分析とは、濃度既知の試薬溶液と試料溶液の反応による体積関係から試料物質の量を決定する方法で、それらの分析方法には、いくつかの方法があり沈澱滴定もそのひとつである。

2.目的

この実習では、容量計測をするガラス器具の基本的な取り扱い方、特に滴定実験の精度に大きく関係するビュレットの使用法を習得し、危険物および劇物などの指定を受けた薬品の取り扱いなどを体験してもらうことを目的とする。

3.滴定分析の原理

定量しようとする成分を含む試料溶液に、これと反応する濃度既知の溶液（標準溶液）を加え反応が完結するまでに要した標準溶液の体積から、目的成分の量を求める。最も一般的にはビュレットを用いて標準溶液を滴下して、ビーカーもしくはコニカルビーカー中の試料溶液と反応させる。この操作を滴定という。標準溶液中の成分Aとビーカー中の成分Bとが理論的に反応がちょうど終わった点を当量点という。滴定の終点とは実験上観察される反応の終結点であり、理想的には当量点と一致するべきものである。
当量点を知るには最もふつうには指示薬を用いるが電気化学的方法や光学的方法を用いることもある。当量点と終点の差を滴定誤差と言いこの誤差は空試験を行うことにより補正することができる。

3.概要

この実験は塩化銀の難溶性を利用してCl^-をAg^+で滴定する。Cl^-の溶液に指示薬としてK_2CrO_4を加えAg^+溶液を滴下すると次の反応が起こる。

終点まで　$Ag^+ + Cl^- = AgCl\downarrow$

終点後　$2Ag^+ + CrO_4^{2-} = Ag_2CrO_4\downarrow$

↓は沈澱を意味し、AgClは白色の沈澱で、滴定の終点はAg_2CrO_4の赤褐色の沈澱生成によって検知する
今回は数種類の醤油中に含まれる塩化物イオンを測定することにより塩化ナトリウム濃度つまり食塩濃度を求める。この分析では下記の2点に注意する。

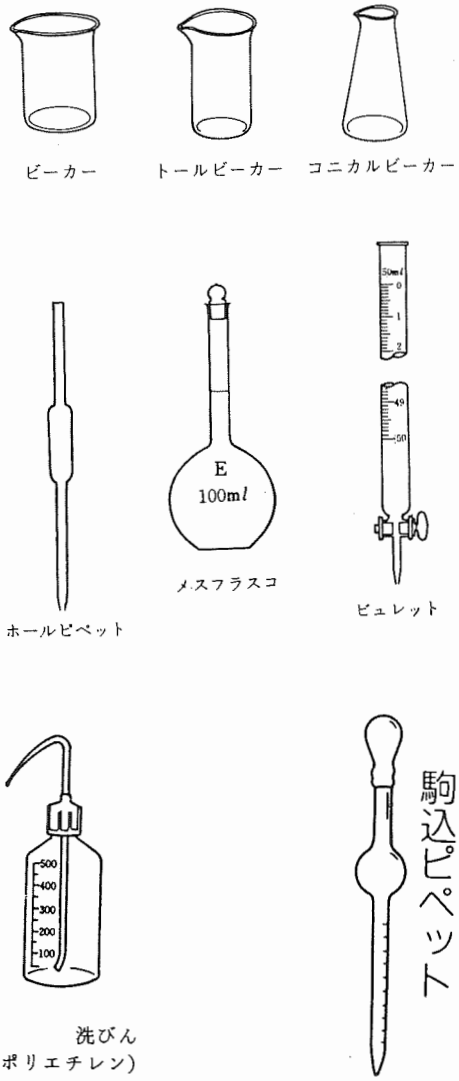
1.分析する試料溶液のpHは6.5～10.5に保つ。この範囲になければ適当な酸、塩基で調整する。
2.指示薬のクロム酸カリウム量には最適値があり多過ぎても少な過ぎても誤差を生ずる。

この実験法では、塩化物イオンの量を測定するので

NaCl以外の塩化物イオン、例えばKClなども定量される。また塩素以外のハロゲンイオンであるBr^-,I^-なども定量されるが醤油中にはこれらの含有量は微量なので、実験に与える影響は少ないと判断し特に補正などはしない。

5.使用器具

50mℓビュレット, ビュレットスタンド、ロートビュレットバサミ、200mℓビーカー、洗浄ビン
200mℓコニカルビーカー、10mℓホールピペット
1mℓホールピペット、2mℓ駒込ピペット、薬さじ
500mℓメスフラスコ、ピペットスタンド
廃液タンク



6.使用薬品

使用薬品は下記の通りである。

1.標準溶液.....0.01mol/ℓ硝酸銀水溶液
2.指示薬.....0.1mol/ℓクロム酸カリウム水溶液
3.空試験用試薬.....炭酸カルシウム
4.その他.....精製水

7.実験における注意点

この実習を安全に行えるように下記のことに注意してほしい。

1. ガラス器具によるけが

使用器具の殆どがガラスで、これが破損したときの切断面は非常に鋭利である。実験中の事故では、ガラス管をゴムチューブに挿入する、堅くなった（ガラスがかみ合うなどして回り難くなった、または回らなくなった）活栓などを不用意に使用するときに起こることが多い。このような事故に共通することは思いのほか強い力がかかっていることで、非常に深い傷を受けることがある。

2. 薬品の毒性

この実験で使用する薬品で硝酸銀、クロム酸カリウムは劇物指定を受けている。両薬品とも強い毒性と皮膚を侵す性質がある。とくにクロム酸カリウムは六価クロム化合物であり環境基準値を法令で定められた物質で取り扱いには注意してもらいたい。
これらの薬品が皮膚に付着した場合は速やかに流水で洗い流したのち石鹸でよく洗う必要がある。

3.廃液の処理

この実験で使用する薬品は毒性が強いので絶対に実験室の流しに捨ててはいけない。実験で使用した

薬品などの廃液はその種類を明記した廃液タンクに貯蔵した後しかるべき処理をする。

8.器具の使用法

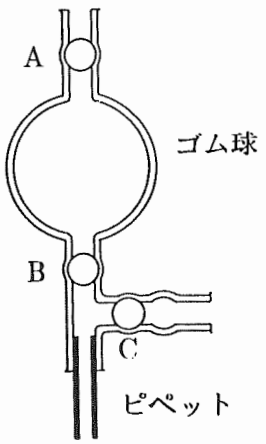
8.1　測容器

容量分析ではピペット、メスフラスコ、ビュレットなどの測容器を用いるが、これらの正しい取り扱い方を知っていることが正確な結果を得る上で絶対に必要である。第一に測容器は常に内側を清潔に保たなければならない、しかし使用する器具は必ずしも乾燥していなくてもよい場合が多い。たとえば標準液を用いるときは少量の標準液で測容器を2,3度繰り返し洗う（とも洗い）ことによって初めにあった水分を除去できる。
測容器で液体をはかるとき、液体の表面張力によるメニスカスという二重の弧状の形になる。メニスカスの最下部を液面として標線に合わせたりメモリを読んだりする。また視線は水平になるように注意する。

ピペットの取り扱い：ピペットの細い方の一端を液にじゅうぶん浸け、液を標線の少し上まで吸い上げ口を離すのと同時に人差し指で吸い口をふさぐ。ふさいだ指の力を調節し液を少しずつ流出させ標線に合わせる。この状態でコニカルビーカーなどの容器に移す作業に入る。指先を離せば自然落下でビーカーに移るが、このとき排出される量は何度やっても同じであるべきである。具体的には大部分の液が流出した後先端の毛管部に残った液の処理の仕方である。普通は、液の大部分が流失した後、受け器の壁に先端を接触させ10秒ほど保つ。先端で少し器壁をこするようにしてもよい。また、吸い口を指でふさぎ、別の手でピペットの球部を握り中の空気を膨張させ液を押し出してもよい。しかし口で吹き出すのは良くない。ピペットの内壁に付着している液が遅れて出てくる（後流という）ので作業はゆっくり行う。

ビュレットの取り扱い：最も普通に用いられるビュレットは液の放出部に活栓のあるもので、全量が50mℓまたは25mℓのものである。
ビュレットの目盛り線は管を一周していないので、その読みとりは慎重に行わなければならない。まずビュレットが垂直に保てれていることを確認し、目線と読みとる目盛り（メニスカスの最下端）を水平にする。ビュレットの活栓の下部に気泡が入ることがありこの場合は活栓を全開にし、急速に液を出し気泡を除く。またビュレットに液を入れた直後に目盛りを読むと、器壁に接触している液がおくれて流れ落ちるため誤差を生じる（後流誤差）ので1分程待って読む。滴定時も液を急速に流失させると後流誤差が大きくなるので静かに流失させる。

安全ピペッター：吸い上げる液体が強酸、強塩基、また揮発性、あるいは毒性のある場合は、口で吸わずに安全ピペッターを用いる。3箇所の弁のところに小球が入ったもので通常は閉じられた状態であるが、まわりのゴムを指でつまむと空隙を生じ空気の通過ができるようになっている。



1.弁Aからゴム球体の空気を追い出す。

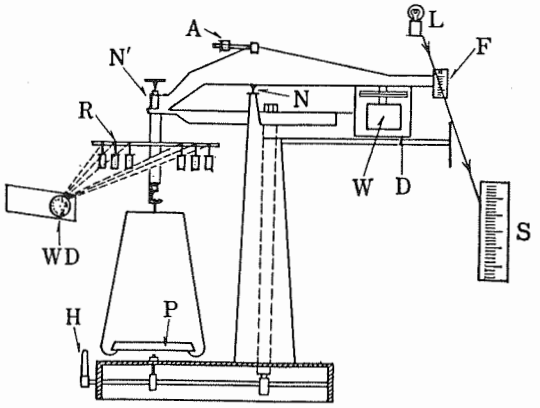
2.ピペットの先端を目的の液中にいれ、弁Bをゆっくり開けて液を吸い込む。

3.ピペット中の液面が標線よりいったら弁Bを閉じ弁Cを開いて液を少しずつ捨て、液面を標線に合わせる。

4.ゆっくりとピペットを引き上げ、移し入れる容器中に持っていき、弁Cを再び開ける。

8.2　直示天秤

重量測定を行う道具（通常天秤と呼ばれている）は化学分析で最も重要な道具の一つである。厳密な意味での天秤は、左右の腕の長さが同じで、左右の皿にそれぞれはかる物と分銅をのせ、てこと振り子の原理によって振動法により重量を求めた”昔式”の化学天秤をさす。しかし現在では、直示天秤が広く用いられている。直示天秤の一例を下図に示す。



定感量直示てんびん
P: 皿　R: 分銅　WD: 分銅加除用ダイヤル
N, N′: ナイフエッジ
A: ゼロ点調節用のたま　W: おもり
D: エヤダンパーケース　F: 投影される目盛
L: ランプ　S: 読取目盛　H: ハンドル

図に示したものは常に同じ重さの荷重がかかっている状態で測定するので、定感量てんびんとよばれる
また左右の腕の長さは同じでなく、いわゆる不等比てんびんであり測定法は減量法によって行う。
すなわち、皿に何ものせないときに右側のおもりWとつり合うようにしてある。皿に物をのせると皿が重くなるが分銅Rをのぞいて Wとつり合う点を求める。分銅の加除はWDのダイヤルを回して行う。
はかりがいつまでも揺れていないようにエアダンパーDでとめる。皿（+試料）とおもりの重さが厳密に等しくなければ、はかりは少し傾くがその傾きをLから光を当ててスケールSに投影させ、僅かな重さの差を読みとれるようにしてある。天秤を取り扱うときの基本的な注意事項を下記に示す。

1.常に水平の保守に注意し衝撃、振動などを与えてはいけない。

2.物や分銅の加除は必ずハンドルHを回し停止の状態にして行う。

3.ハンドルやツマミ類は静かに動かす。

4.室温と違った温度の物を測ってはいけない。

5.箱内に試料、試薬などをこぼしたらただちに清掃する。

最近はダイヤル操作もハンドル操作も必要としない、要するに皿の上に試料をのせれば、デジタル表示で質量がわかる「電子天秤」が急速に普及しているが、今回の実験は直示天秤を使う。具体的な使用法を説明する。

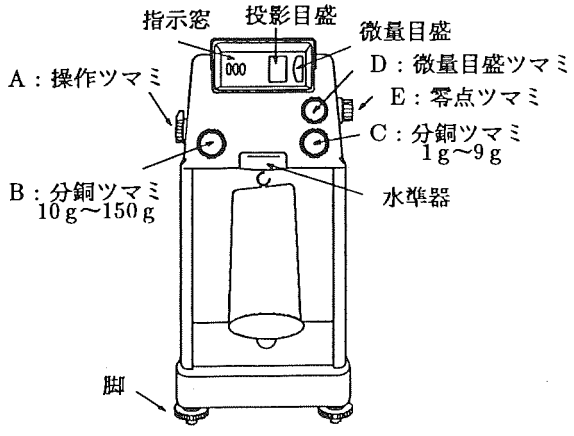
調整：実際に試料を測定する前に天秤を調整しなくてはならない。

1.天秤が停止状態（Ⅰ）で、全ての分銅ツマミが0であることを確認し、天秤のガラス戸が完全に閉まっていることを確認する。

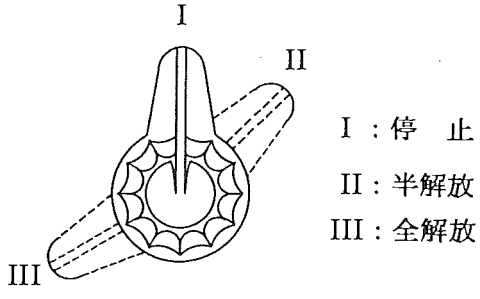
2.水準器を確認する。もし水平でなければ、天秤の足にある調節器を回し水平を合わせる。前の2本の足で左右を、後ろの足で前後を合わせる

3.操作ツマミを全解放（Ⅲ）にして天秤の重量表示が安定したらＥツマミで0点を合わせる。

4.操作ツマミを停止（Ⅰ）にする。



直示天秤の各部の名称



直示天秤の操作ツマミの位置と働き

測定：実際の実験では、炭酸カルシウムを0.5ｇ採取するが、5.00ｇを秤量する例について説明する。

1. 操作ツマミが停止(Ⅰ)であることを確認する。

2. ガラス戸を開けて薬包紙を測定皿にのせガラス戸を閉じる。このとき薬包紙が壁などに触れていないことを確認する。

3. 操作ツマミを全解放(Ⅲ)にする。薬包紙は0.3～0.4ｇなのでＢ,Ｃのツマミの操作は必要ない。もし重さが未知または1ｇ以上ある時は7.にすすむ。

4. Ｄの微量目盛ツマミを使い投影目盛の線がスクリーンのスリットの中心に入るようにする。

5. 数値を読んで記録し、操作ツマミを停止(Ⅰ)の位置に戻す。

6. 再びガラス戸を開け、薬さじで炭酸カルシウムを少しずつ加えていく。

7. ガラス戸を閉め、操作ツマミを半解放(Ⅱ)にする(この操作は分銅を選択する際に用いるもので、天秤の機械部の上下の動きを少なくしナイフエッジを保護するためである)。

8. Ｃの分銅ツマミを回して質量表示窓に１ｇを表示させ1ｇずつ増加させていく。目盛りが跳ね上がったらＣの分銅ツマミを逆に一つ戻す。

9. 質量が”5.00+薬包紙の重量”の値になるまで6. 以降の操作を繰り返す。

10. 天秤で質量を測定し終えたら、全てのツマミを0に戻す。汚したら掃除する。

9. 実験操作

1. 醤油1㎖をホールピペットではかり、500㎖メスフラスコにとり、水で標線に合わせる。

2. 200㎖コニカルビーカーに希釈した醤油試料10㎖をホールピペットでとり0.1mol/ℓクロム酸カリウムを0.5㎖加える。

3. よく振り混ぜながらビュレットから硝酸銀標準溶液0.01mol/ℓを滴下する。溶液がわずかに赤褐色になった点を終点とする。

4. 1.から3.の操作で各試料を2回滴定する。

5. 同量のクロム酸カリウムを含む水10㎖に、炭酸カルシウム0.5ｇを懸濁させたものについて、同様に滴定し空試験値を求める。
6. 滴定量、滴定に用いた醤油試料の希釈倍率等を考慮し塩化ナトリウムのｇ/ℓを算出する。

10. 結果のまとめ

各試料と空試験の平均滴下量を計算し、試料の滴下量から空試験の値を差し引いた値を計算する。

データ集計例　1.

空試験=　1㎖

試料名	滴下量(㎖)	滴下量-空(㎖)
試料A	5.00	4.00
試料B	5.50	4.50
試料C	6.00	5.00

NaCl.....分子量　58.44、当量数1

$AgNO_3$.....分子量　169.88、当量数1

この（滴下量-空試験）が当量点の値である。

反応は、NaClと$AgNO_3$は1:1の反応なので滴下したモル数と試料溶液中のモル数は同じである。

試料Aの計算例を示す。

試料A10㎖のモル数を求める。滴下した標準液のモル数は、

$0.01\times(4/1000)=4.0\times10^{-5}$mol

この値は、試料の希釈溶液の値なので、希釈率などを考慮し、原液1ℓのモル数を計算すればよい。

希釈は、1㎖を500㎖に希釈し、10㎖採取したので

$1/500\times10=0.02$

つまり原液0.02㎖中に4.0×10^{-5}molのNaCl濃度なので1ℓつまり1000㎖中には

$1000/0.02\times4.0\times10^{-5}=2.0$mol/ℓ

NaCl:1mol=58.44ｇなので　$58.44\times2.0=116.88$

試料A原液1ℓ中のNaCl濃度は

116.88ｇ/ℓ

以上の計算式をまとめると。

B=A×29.22

硝酸銀標準溶液滴下量(㎖)=A

試料1ℓの塩化ナトリウム含有量(ｇ)=B

11. 最後に

この実験法ではもちろん醤油以外の塩化物イオンも測定可能である。それでは構成成分が未知の試料などを測定するときは？　この場合いくつかの問題があり、下記に最低限考慮すべき点を2つ示す。

1. 希釈率の検討

未知試料であるから当たり前であるが、塩化ナトリウムの濃度の予想がつかない。つまり希釈率を決定できない。上記の例で用いた試料Aが未知試料と仮定すると、希釈せずに10mℓ測り取れば単純計算で硝酸銀標準液は2000mℓ+1mℓ必要になる。これでは実験にならない。希釈する場合も希薄な液を更に薄める可能性がある。濃度をある程度推定するには、さまざまな方法が考えられるが、段階的に希釈した溶液を作り試行法でおおまかな濃度を出した後、あらためて標準溶液に近い濃度になるように希釈率を検討する方法が確実である。

2. pHを確認する。

前にも触れたがこの分析法はpH6.5～10.5に保つ必要がある。酸性溶液は$CaCO_3$,$NaHCO_3$ 塩基性溶液はHNO_3などで中和する。

12. 参考文献

1. 富田　巧、長島　弘三　”分析化学”

2. 日本分析化学会北海道支部
”新分析化学実験”

3. 日本分析化学会北海道支部
”分析化学反応の基礎”

トラバース測量実習

担当　土木開発工学科　相田雅輝　平田広昭　平松雅宏

1．はじめに

測量とは、地表・地中・水中・空中など人の活動領域における諸点の位置関係の情報を、所定の方法と精度に従って取得し、処理し、数値や図で表現することである。その理論や方法および応用を考える学問を測量学という。

測量の歴史は古く、古代エジプトにおいてナイル河の洪水で荒れた農地の整理のために土地を測ったことに始まると言われている。現存する規則正しい形の大規模なピラミッドからも、当時、相当高度な測量技術があったことがうかがえる。現在では、測量技術の進歩は驚異的で、電子計算機の利用、電磁波測距儀の発達、写真測量技術・判読技術の発展、人工衛星の利用などにより内容が一変したといっても過言でない。こうした技術は青函トンネル、瀬戸大橋、関西国際空港など各種建設事業に伴う測量や土地に関する測量にも大いに活用されている。日本では、ＧＰＳ測量の標準化に着手するなど時代の要請に機敏に対応しつつある。

2．測量の基本

諸地点の相互の位置を定めるには、一般に次のようにする。図１で、基準となる点（**測点**）をＯ、この点を通り基準となる線（**測線**）をＯＮとすれば、点Ａの位置は、水平角∠ＮＯＡ′（＝α）とＯＡの水平距離ＯＡ′（＝l）、点Ａの高さＡＡ′（＝h）を測定すれば定まる。２点ＯとＡとが同一平面上にあるときは、αとlが求まればよい。つまり測量とは、**水平角**α、**水平距離**l、**高さ**hの３要素を求める作業である。この作業は、**外業**（野外で行う測定作業）と、**内業**（結果を計算して図面をつくる作業）に分けられる。

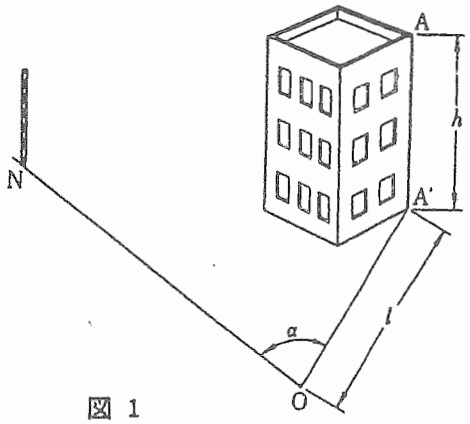


図１

3．測量の分類

測量は、測量範囲の大きさや作業の方法・目的などによって分けられる。

（１）　測量区域による分類

地球は南北に偏平な回転楕円体で

ある。その楕円体パラメータの代表的数値を表1に示す。

日本では、表中のベッセルの値を採用している。地球を半径６３７０ｋｍの球体と仮定して測量することもある。このように地球の曲率を考慮に入れて行う測量のことを**測地測量**または**大地測量**という。これに対し、半径１０ｋｍ以内の小範囲では、地球を平面と見なして測量しても誤差は極めて小さい。このような測量を**局地測量**または**小地測量**という。

（２）　測量の目的による分類

１）**土地測量**　土地の面積・境界線などを測定して地物の位置を図示する測量。

２）**水準測量**　土地の高低差を求める測量。

３）**地形測量**　土地測量と水準測量を同時に行う測量

４）**路線測量**　道路・鉄道など長さに比べ幅の狭い地域での測量。

５）**河川・港湾測量**　河川・港湾などの測量で、水位・流量・潮流・深浅などの測定も含まれる。

６）**トンネル測量**　トンネルの計画・掘削などのための測量で、**鉱山測量**も含まれる。

７）**建築測**　建物を建造するための測量。

８）**天体測量**　緯度・経度の測定などを行う測量。

表１　地球楕円体のパラメータ（a, f）

楕　円　体	採用年	赤道半径 a(m)	逆偏平率(1/f)
エベレスト	1830	6,377,276	300.80
ベッセル	1841	6,377,397	299.15
クラーク	1866	6,378,206	294.98
クラーク(改訂)	1880	6,378,249	293.47
ヘルメルト	1907	6,378,200	298.30
ヘイフォード	1909	6,378,388	296.96
国　際(ヘイフォードを採用)	1924	6,378,388	297.00
クラソフスキー	1942	6,378,245	298.30
測地基準系1967	1967	6,378,160	298.247
測地基準系1967(改訂)	1975	6,378,140	298.257
測地基準系1980	1979	6,378,137	298.257
測地基準系1980(改訂)	1983	6,378,136	298.257

偏平率 $f=(a-b)/a$, b：極半径　　（日本測量協会編「測量学事典」による）

4．測量の方法

小規模で見通しの良い場所の測量を行うには、一つの測点を定め、この点から各地形、地物の測量を行う。地域が広くなると測点の数を増やさなければならない。このとき各測点ごとに測量を行ったものをつなぎあわせると、全体として大きな狂いが生じる。そこで、まず測点を結びあわせた骨組をつくり、正確に測量する。これを**骨組測量**という。次に、各測点を基準として、地形や地物の測量を行う。これを**細部測量**という。

一般に測量は図２の手順で行う。

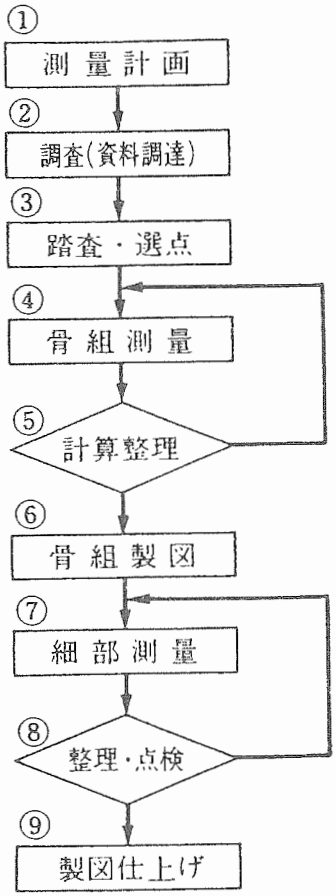


図２

5．ＧＰＳ測量の概要

ＧＰＳとは、アメリカの人工衛星から発信される電波を利用して、地表の３次元位置（緯度、経度、高度）を求める測位技術である。図３のように６軌道上に等間隔に４個ずつ２４個の衛星を使っている。精度は、干渉測位が最も精度が良く、１０ｋｍで１ｃｍ程度である。その高い測定精度、取扱いの容易さ、測点間の視距のいらないこと、および天候に左右されないなどの優れた特徴がある。身近なところでは、船舶、飛行機、車等のナビゲーションシステムとして利用されている。測量分野や地殻変動などにも利用されている。

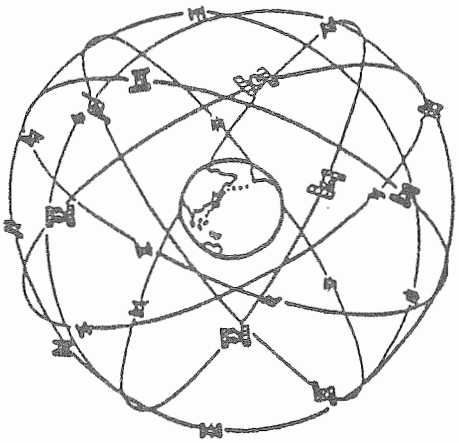


図３　GPS衛星の軌道配置図

6．トラバース測量

トラバースとは、ある地域を測量する場合の骨組測量の一種で、測量に必要な測点を定め、順次測線を連結して、折線となったものをいう。トラバースの各測点の位置を求める測量を、トラバース測量（多角測量）という。作業は、現地で測角・測距などを行う外業と、外業の結果を整理・計算し、図面を作成する内業に分かれる。トラバース測量は、図４のような種類がある。

閉合トラバース（閉トラバース）は、（ａ）のように、１点から始まり、最後には、再び出発点にもどり、多角形を作る一般的な測量である。

結合トラバースは、（ｂ）、（ｃ）のＢ－１－２－Ｄのように、既知測点間を結ぶ測量である。

開トラバースは、（ｃ）のＤ－（１）－（２）のように、終点の座標が未知なトラバースで、正確さを確かめられないので、高い精度を必要としない場合に用いられる。

（１）造標

使用器具

杭、かけ矢、釘、金づち、
マジックインキ

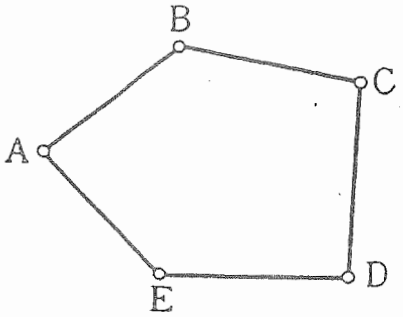
トラバースの設置

・トラバースの種類

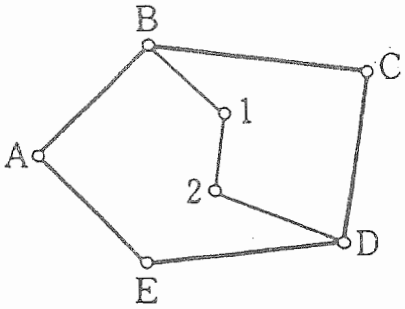
閉合トラバース

・測点数

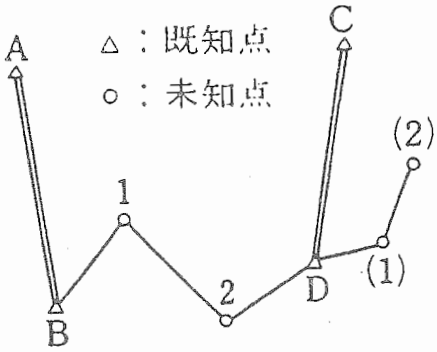
８点



(a) 閉合トラバース



(b) 結合トラバースと
閉合トラバース



(c) 結合トラバースと
開トラバース

図４　トラバースの種類

・測点位置決定の条件

測点間の見通しが良いこと。

測線長がなるべく等しくなるように選点する。

地盤が堅固な場所であること。

（２）測角

トラバースの磁方位角と内角の測定。

・使用機器

セオドライト、三脚、ポール

・磁方位角の測定

１）測定方法

単角法、正位、時計回り

２）測定回数

３分以内の精度で３個以上の測定値が得られるまで行う。

・内角の測定（交角法）

１）観測方向

左回り（反時計回りに測角）

２）測定方法

２倍角法で正位・反位の角度をそれぞれに求める。

３）測角条件

(正位の値) ― (反位の値) ≦40″

・測角の点検と許容誤差

１）点検条件

内角の総和＝(測点数－2)・180°

２）測角誤差

測角誤差＝(測点数－2)・180°－内角の総和

３）許容誤差

測角誤差≦20″√測点数　(基準トラバース)

（３）測距

トラバースの各測点間の水平距離を測定する。

・使用機器・器具

スチールテープ、握り柄、セオドライト、三脚、ポール、等

・測定精度

[平均二乗誤差（ω）／測定平均値（L）]

≦1／10000

$L=(L_1+L_2+\cdots+L_n)/n$

$\omega=\sqrt{v_1^2+v_2^2+\cdots+v_n^2}/n$

n：測定回数　，L_i：測定値

$v_i=L_1-L$（残差）

目安：３０ｍで３ｍｍ以内

（４）水準測量

・使用機器

レベル、三脚、スタッフ、スチールテープ、ポール

・測量経路

Ｎｏ１の杭（標高１００ｍ）を起点にトラバースを一周する。

・許容誤差

１０ｍｍ以内とする。超える場合は再測する。

・記入方法

昇降式で記入する。

（５）内業

実測値を用いて閉合トラバース計算表を作成する。

・内角の調整計算を行い、各測線の方位角を算出する。

・閉合比が１／１００００程度以下であれば緯距・経距から、各測点の座標を算出する。

北見工業大学技術部技術職員研修要項等

北見工業大学技術部技術職員研修実施要項

1．名　　称　　第６回　北見工業大学技術部技術職員研修

2．目　　的　　北見工業大学技術部技術職員に対して、職務に関する必要な知識等を広く修得させ、資質の向上を図るものである。

3．実施機関　　北 見 工 業 大 学

4．期　　間　　平成９年８月６日（水）～平成９年８月８日（金）（３日間）

5．場　　所　　北見工業大学及びＮＧＫオホーツク株式会社（網走市）

6．研修内容　　別紙のとおり（研修日程）

7．講 師 等　　原則として本学関係者とする。

8．そ の 他　　本研修の所定の課程を修了した者には修了証書を授与するとともに、人事院の定める研修として記録する。

第６回北見工業大学技術部技術職員研修日程

	8:30 9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
１日目 8月6日（水）		開講式	技術実習 （概要説明） 化学システム系 土木開発系	・化学システム系実習 ・土木開発系実習	昼食	技術実習 ・化学システム系実習 ・土木開発系実習			
２日目 8月7日（木）		特別講演 『国立大学の最近の動向について』 学長　厚谷　郁夫	講義 『“サロモンの死の谷”と最近の超高速切削技術』 機械システム工学科　教授 北川　武揚	昼食	移動 （スクールバス）	施設見学 ＮＧＫオホーツク株式会社 （網走市呼人）	移動 （スクールバス）		
３日目 8月8日（金）		講義 『国立研究所技術部門の変遷と現在』 機能材料工学科　教授 佐藤　充典	講義 『南極の氷は語る』 土木開発工学科　教授 高橋　修平	昼食	技術発表会 ・機器システム系機器システム運用班　技術官　佐藤　敏則 ・機器システム系機器システム　先任技術専門職員　小竹　正敏 ・機器システム系機器システム運用班　技術班長　久松　茂 ・計測システム系計測設計班　技術専門職員　岡田　包儀 ・計測システム系分析評価班　技術官　奥山　圭一			閉講式	

※　都合により、日程を一部変更することがある。
※　開講式、閉講式及び特別講演・講義は、視聴覚教育室で行う。
※　技術発表会は、Ｂ１１１号室で行う。

第６回北見工業大学技術部技術職員研修会受講者名簿

（五十音順）

番号	氏　　名	所　　属		職　　名
1	相田雅輝	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	土木開発工学科	技術官補
2	阿部　清	機器ｼｽﾃﾑ系	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術長
3	猪狩平三郎	計測ｼｽﾃﾑ系計測ｼｽﾃﾑ	土木開発工学科	先任技術専門職員
4	宇野珠実	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	情報ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
5	大内　均	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	電気電子工学科	技術班長
6	大森誠一	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
7	岡田包儀	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	土木開発工学科	技術専門職員
8	奥山圭一	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	情報ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
9	小畑芳弘	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	第一技術主任
10	小竹正敏	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ	電気電子工学科	先任技術専門職員
11	佐藤敏則	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
12	白川和哉	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	化学ｼｽﾃﾑ工学科	技術官補
13	菅原洋子	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	情報処理センター	技術班長
14	杉野　豪	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
15	杉山道義	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	電気電子工学科	技術官
16	堂田誠治	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	第二技術主任
17	遠国秀昭	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
18	徳田　奨	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	電気電子工学科	技術官
19	布川　裕	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	機能材料工学科	第二技術主任
20	信山直紀	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	化学ｼｽﾃﾑ工学科	第一技術主任
21	橋本晴美	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	化学ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
22	長谷川　稔	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術官
23	久松　茂	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	電気電子工学科	技術班長
24	土方正範	計測ｼｽﾃﾑ系	電気電子工学科	技術長
25	百武欣二	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	土木開発工学科	第二技術主任
26	平田広昭	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	土木開発工学科	技術班長
27	平松雅宏	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	土木開発工学科	技術専門職員
28	松田弘喜	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	化学ｼｽﾃﾑ工学科	第一技術主任
29	森脇幸伸	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	情報処理センター	技術官
30	山田忠永	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ運用班	機械ｼｽﾃﾑ工学科	技術官補
31	山田洋文	計測ｼｽﾃﾑ系分析評価班	機能材料工学科	技術官
32	山根美佐雄	機器ｼｽﾃﾑ系機器ｼｽﾃﾑ開発班	機能材料工学科	第一技術主任
33	輪島秀則	計測ｼｽﾃﾑ系計測設計班	土木開発工学科	第二技術主任

技術部委員会

委員長	技術部長	高橋信夫
委員	機械システム工学科	田牧純一
	電気電子工学科	菅原宣義
	情報システム工学科	柴田孝次
	化学システム工学科	鈴木勉
	機能材料工学科	伊藤英信
	土木開発工学科	後藤隆司
	共通講座（人間科学）	金倉忠之
	情報処理センター長	神谷祐二
	事務局長	矢部忠幸

事務担当　庶務課職員係

技術部運営委員会

委員長	技術部長	高橋信夫
委員	技術長	阿部清
	〃	土方正範
	先任技術専門職員	小竹正敏
	〃	猪狩平三郎
	技術班長	菅原洋子
	〃	大内均
	技術主任	小畑芳弘
	〃	松田弘喜
	〃	百武欣二
	〃	輪島秀則

事務担当　庶務課職員係