

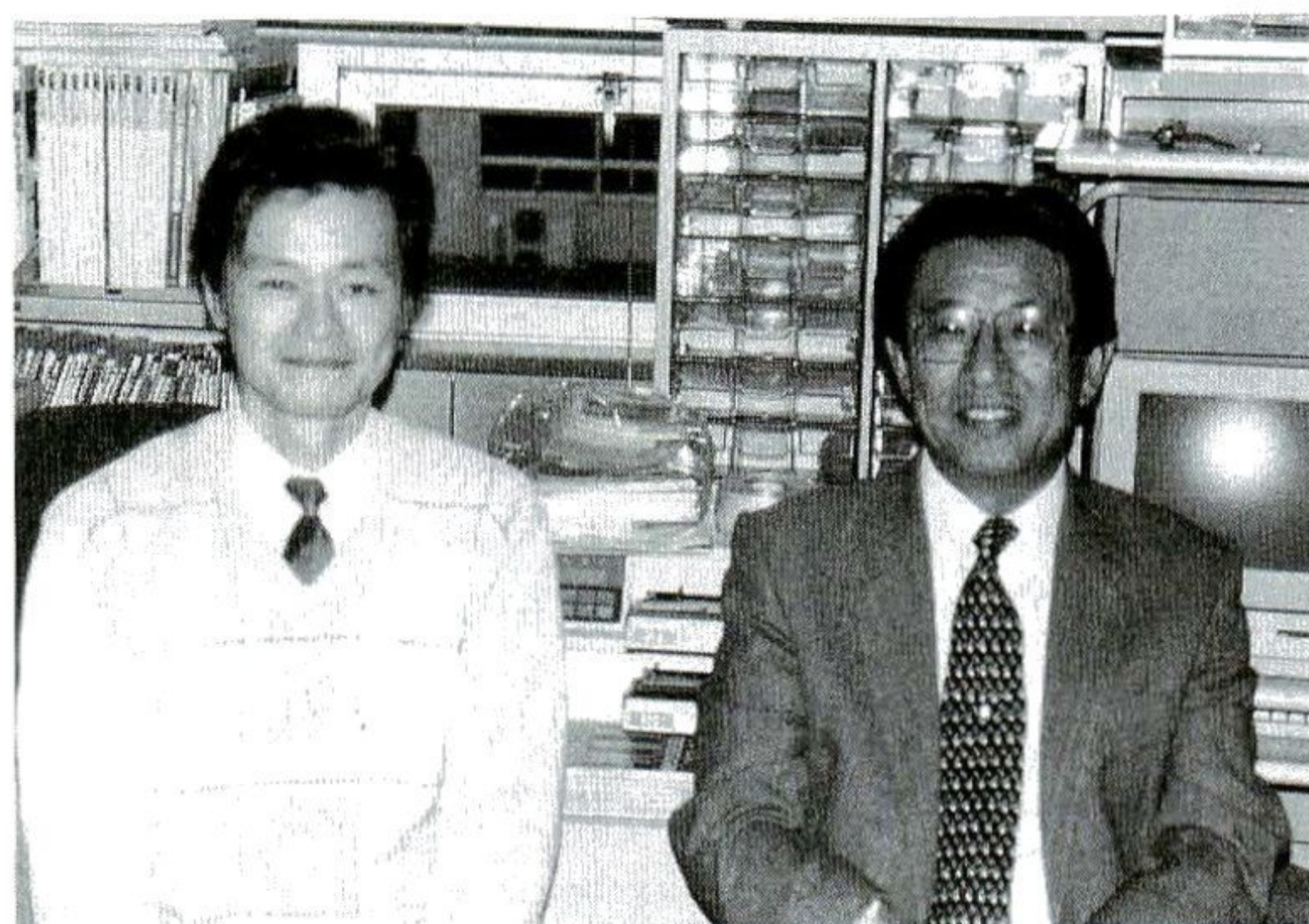


# 熱工学を実用に結びつける

— 黒崎・佐藤研究室～機械知能システム学科 —

みなさんは、「熱」と聞いて何を思い浮かべますか。沸騰した湯などのごく日常的な物事が頭に浮ぶだろう。事実、熱に関する問題は、私たちの生活に密着しているものが多い。なぜなら、この世界のあらゆる現象には熱の収支が必ずといってよいほど伴うからだ。例えば、一見熱とは無関係に見えるコンピュータの世界ですら、熱はとても重要な問題である。スーパーコンピュータのチップの単位面積当たりの発熱量は、原発のそれに匹敵する。従って、発生する熱を効率よく放熱することは不可避な問題である。このように熱工学にはとても身近な問題が多いが、個々の問題に注目すると、まだ解明されていないものが多い。

今回は、「熱」の種々の課題を研究なさっている黒崎晏夫教授にお話をうかがった。



(右) 黒崎 晏夫 教授

(左) 佐藤 勲 助教授



## 熱工学の発展性—歴史とこれから

熱工学の始まりは、産業革命までさかのぼる。蒸気機関の発明がその契機となったことからわかるように、熱技術がその発展を支えたのである。しかしそれから1940年代までは、伝熱学は熱工学の中でも系統的な学問とはなっておらず、経験による現象の認識程度にとどまっていた。第二次大戦後、米ソを中心とする宇宙開発が盛んになり、

それに伴って、熱工学も基礎的な部分について研究がなされるようになった。例えば、宇宙船内で発生する熱は其中で処理しなければならないといったように、それまで考えられなかった全く新しい問題が発生したからである。

そして1970年代に入ると、オイルショックを境にエネルギーの有効利用という課題のもとに発展したのである。この時期に浮上し、現在でも解決していないものとして地球の人口増加に伴うエネルギー問題がある。さらに1990年代に入ると、いままでも熱工学的側面から見られなかった新たな分野への熱工学の応用、浸透が図られるようになった。また将来的には、熱工学を主体とした技術開発が期待されている。

このように熱工学は、発祥自体は古いにもかかわらず、最近まで基礎的な部分でさえ発展がみられなかった。その意味で熱工学は新しく、研究の余地がまだ多くあるということがいえる。

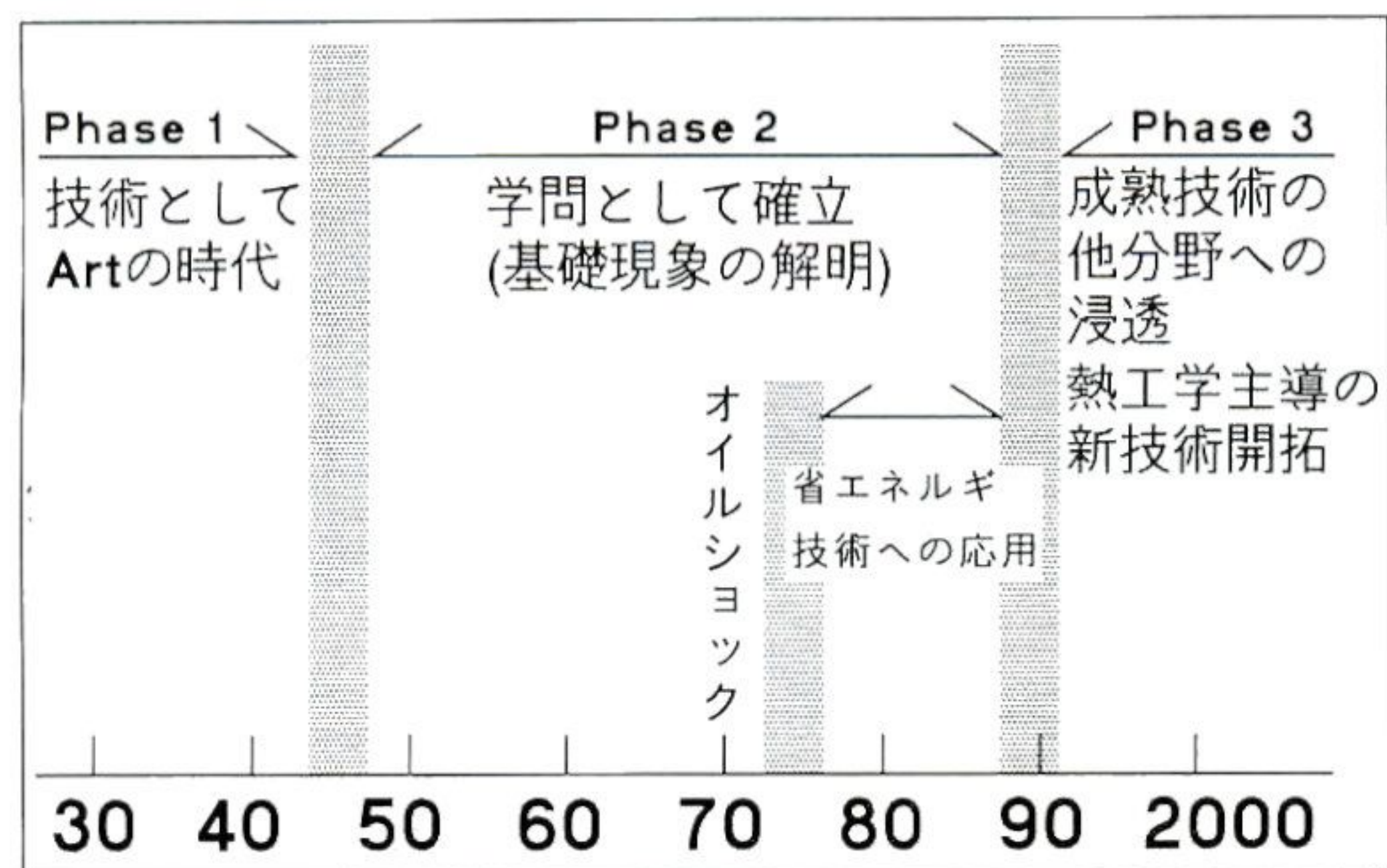


図1 熱工学の時代経緯





## エネルギー有効利用への試み

現在、エネルギー消費の増大に伴う、環境破壊・天然資源の枯渇などが世界的に問題になっている。このため、効率の良いエネルギーの利用法を一刻も早く構築することが、先進諸国に求められている。例えば発電分野でのエネルギー有効利用法として、日本で最近普及しつつある熱電併給システム(Co-generation)をあげよう。

熱電併給システムとは、大規模なビル群などで採用されている発電システムの一つで、文字通り熱と電力の両方を供給しようというものである。実際には、火力発電を行った時に発生する大量の熱を、周辺のビル群に冷暖房用として供給している（これを地域冷暖房という）。この代表例として、田町にある東京ガスと東芝のビルが挙げられる。東京ガスは、地下に天然ガスによる火力発電装置を持ち、これによりビル内に電力を供給し、発生する熱はビル内の冷暖房に用いている。そして余った熱は、隣の東芝のビルに供給している。

火力発電の場合でも、電気として利用される以外のエネルギーは、熱として排出されている。エネルギーが、最終的にとりうる形態は「熱」ということがいえるかもしれない。その意味で、熱工

学がエネルギーの有効利用に貢献する可能性は非常に大きい。ここ黒崎研でも、冷熱利用の研究が行われている。

現在都市ガスとして用いられている天然ガスは、輸出国で大量のエネルギーを使って圧縮・冷却し、液体にして輸入され、海水を使って暖め再びガスにして消費者に送られる。現在この過程で出る冷熱は、全く利用されていない。この冷熱を地域やビルなどへの電力の供給、冷暖房などに利用しようというものである。しかしそれには、いくつかの問題点がある。最大の問題は、効率のよい冷熱の輸送方法である。ガスの気化で冷えた海水や、何らかの液体を媒体としてポンプで冷熱を運ぶ輸送システムでは、輸送ポンプの動力にエネルギーを大量に使い、このシステム自体の意味がなくなってしまう。また、ガス化プラントの近くにビルなどを建てようとする、安全性に問題がある。そこで、黒崎先生はカプセルによる冷熱輸送システムを考え出された。これはカプセルの中に水などを詰めて凍らせ、空気の風圧で送る、というものである。これならば気体は液体に比べ粘性が少ないので、わずかな動力で輸送可能である。しか

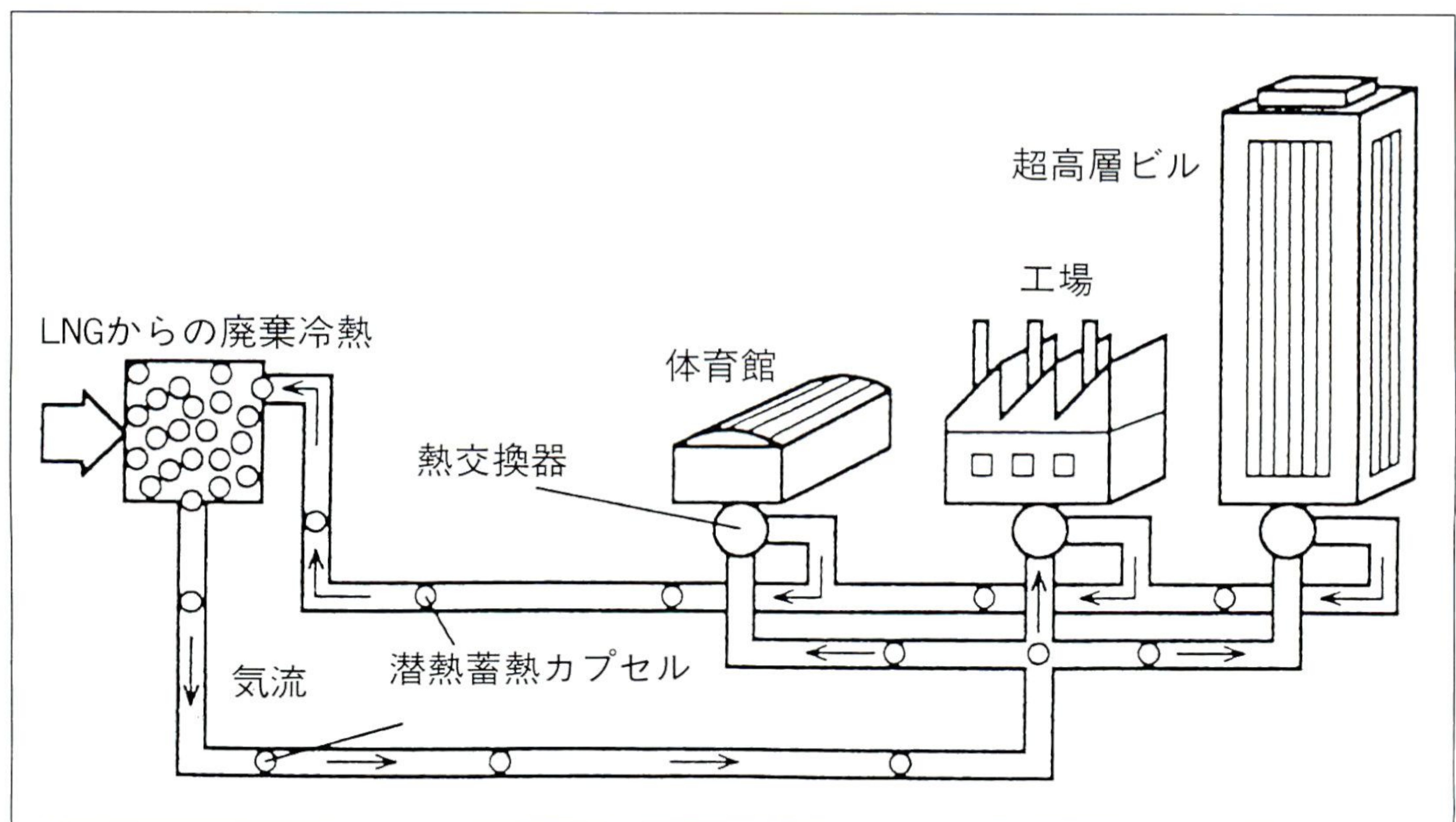


図2 潜熱蓄熱カプセルを用いた冷熱輸送システムの概念



し実現にむけて、カプセルの最適な大きさや材質はまだわかっていない。カプセルが小さすぎると搬送の途中で中身が溶けてしまうし、大きすぎても効率が悪い。そして材質による影響も大きい。またどのような条件でカプセルを凍らせ、その冷

熱をどうやって取り出すかということも課題である。そこで黒崎研究室では、このような問題について小規模の搬送モデルを作り実験している。これはまだ研究段階であるが、技術的に可能な段階になればビルの冷暖房などに利用されるだろう。



## 生産技術への応用—高分子射出成形の高品位化

黒崎研究室では、熱工学に関わる基礎から応用まで幅広い研究を行っている。その中でも、伝熱学を生産工学に結び付けた最近の研究成果の一例として、高分子射出成形の高品位化を紹介しようと思う。

私たちの身の周りには、プラスチック製品が氾濫している。プラスチックぬきの生活は考えられない。しかし、その製造過程を知らない人は多いのではないだろうか。

プラスチック製品は溶融した樹脂を型に流し、冷却、固化させる射出成形という方法で作られる。この工程は一見簡単そうだが、高度な技術が必要とする。ただ単に樹脂を冷却しただけでは、完成品にひずみや、ひけ（注1）と呼ばれる表面がくぼむ現象がおこるのだ。これらを防ぐ技術は、今までは経験に基づく知識に頼っていた。黒崎研では、これを熱工学的な方法で見直そうとしている。例えば、コンパクトディスクや光磁気ディスク、レンズなどの精密な光学機器を射出成形で作るような場合、データの読みとりの誤りの原因となる、樹脂内部の残留複屈折（注2）があってはならない。しかしこれらの現象がおこる原因は十分解明されていない。そこで黒崎研では、このひけや複屈折

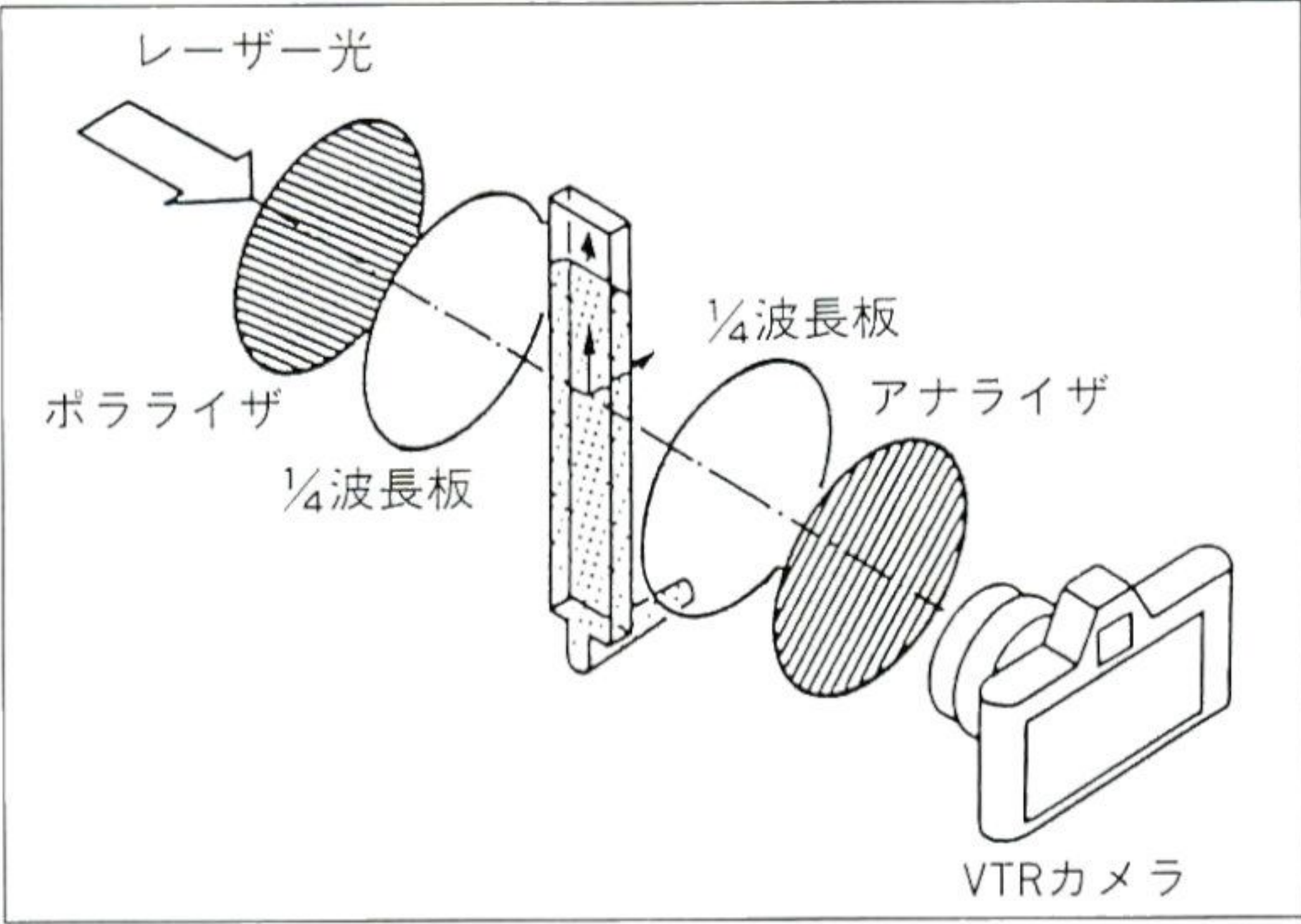


図3 光弾性法による複屈折の可視化

のできる過程、できる場所のコントロール、解消法などを解明するために研究を進めている。

まず実験方法を簡単に述べる。樹脂加工用の金型にのぞき窓を設け、金型の温度、樹脂の流動速度などの条件を変えて流動から固化までの過程を観察する。この流動から固化までの過程は短時間であるため、高速度カメラを用いて観察する。複屈折の観察に関しては、偏光板を通して等色線を観察し、その波長から異常偏光である複屈折の値を求める。熱現象は本来見えないものである、このような「可視化」ということは現象を理解する上で大いに役立つのである。

これまでの研究成果を簡単に述べる。

まず複屈折の変化過程であるが、大きく三つに分けられる。第一の過程は、樹脂を型に流し込む過程である。壁面に沿って樹脂が流入してくると、壁面から樹脂が冷却、固化する。その際、樹脂は固化層と流動層の二層に分かれるが、その境界面には力がはたらく。この境界面が固化すると、内部にせん断応力と呼ばれる応力が残る。これにより生じる複屈折は、中心軸とほぼ等間隔であることが写真の縞模様からもわかる。第二の過程は、樹脂の流動停止とともに複屈折が緩和していく過程、第三の過程は、樹脂が固化していく過程であ

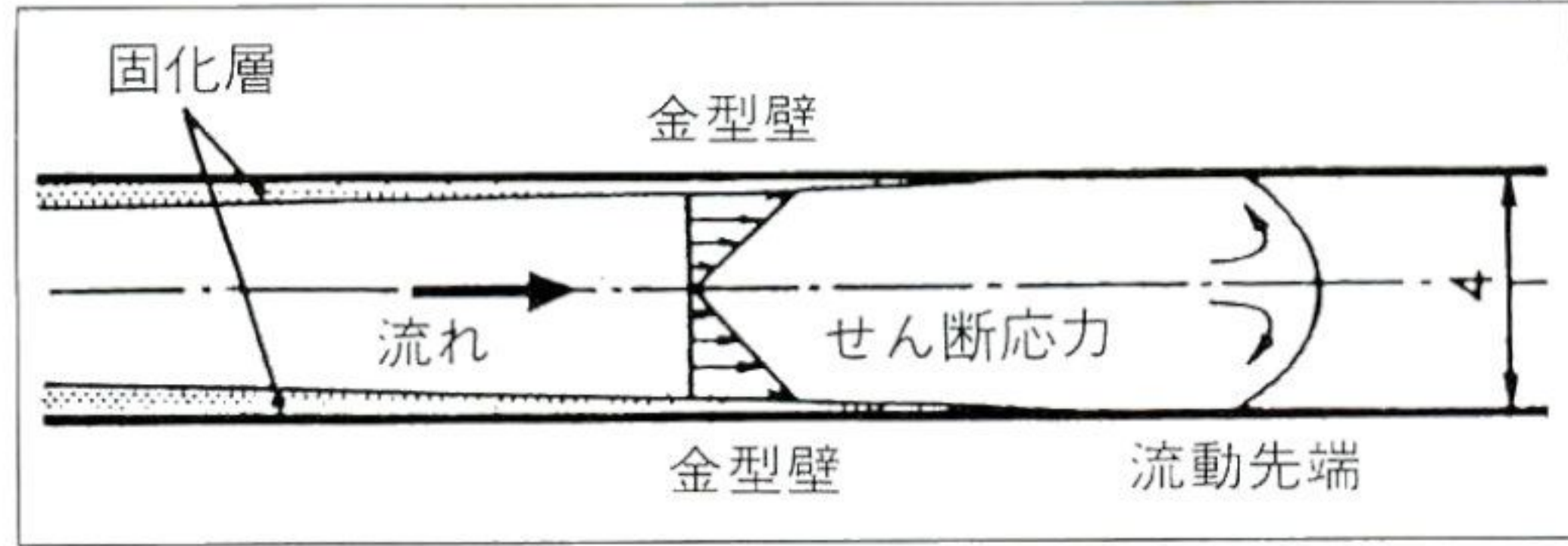
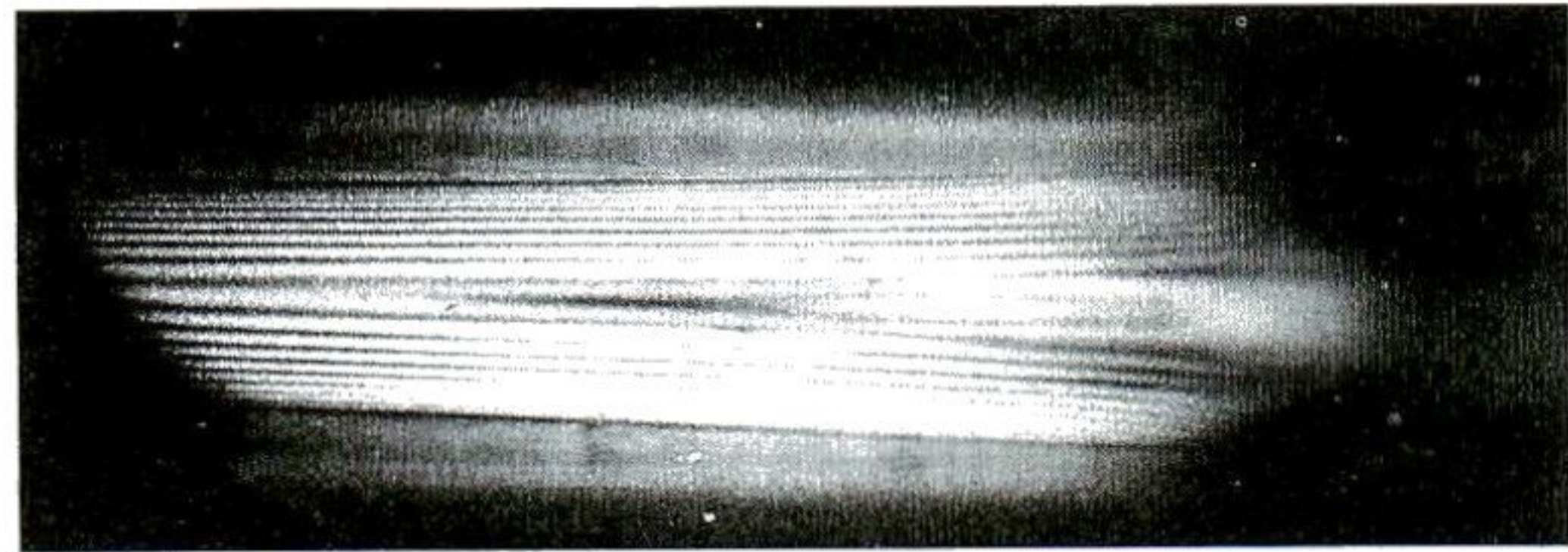


図4 高分子射出成形時に生じる複屈折



る。この時の複屈折は数十秒かけてゆっくり変化していく。二十数秒かけて全体が固化するが、この時の複屈折は中心部ほど小さく、壁に近いほど大きくなる。この後、等色線は固化後数十秒まで壁から中心部に移動する。これは温度変化による熱応力(注3)によるものである。一方、壁面付近では、流動過程で生じたせん断応力がそのまま残る。これらの複雑な現象は高速ビデオで撮影しており、誰が見てもわかるように編集されている。

また、ひけの発生についての研究もなされている。ひけの発生する時期は固化が完了する時期よりわずかに早い。これは、樹脂が固化するときの

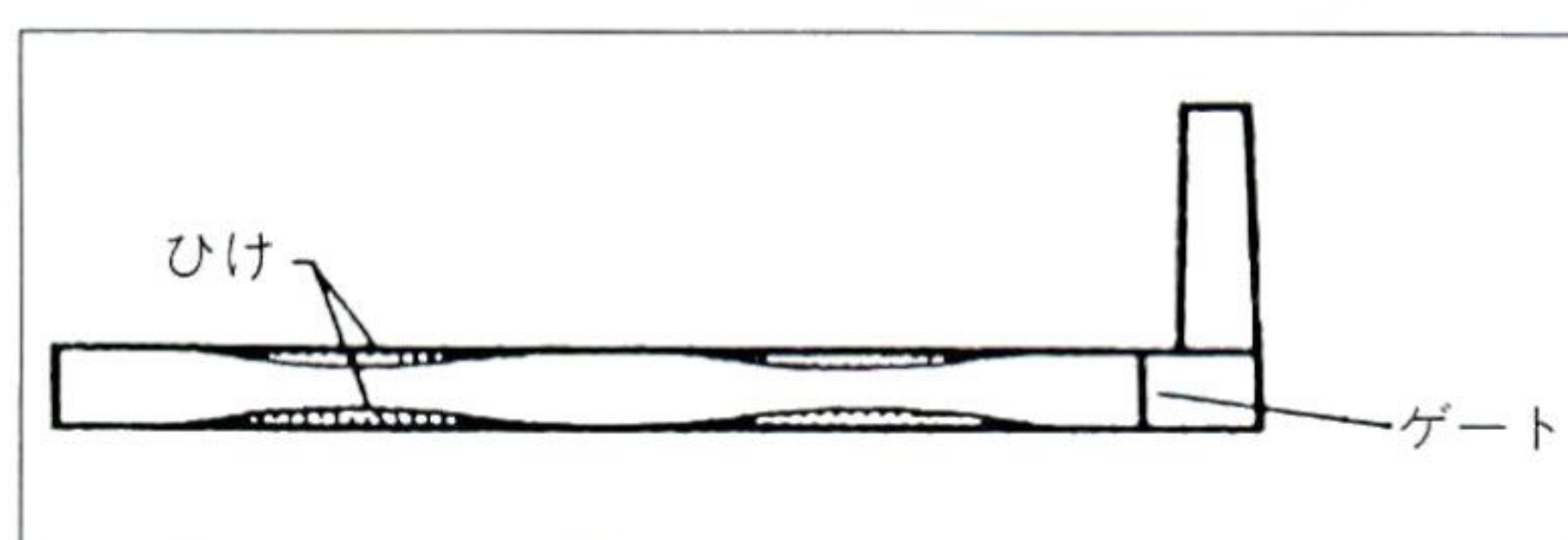


図5 上下の温度差が小さい場合、上下に同様なひけが生じる。

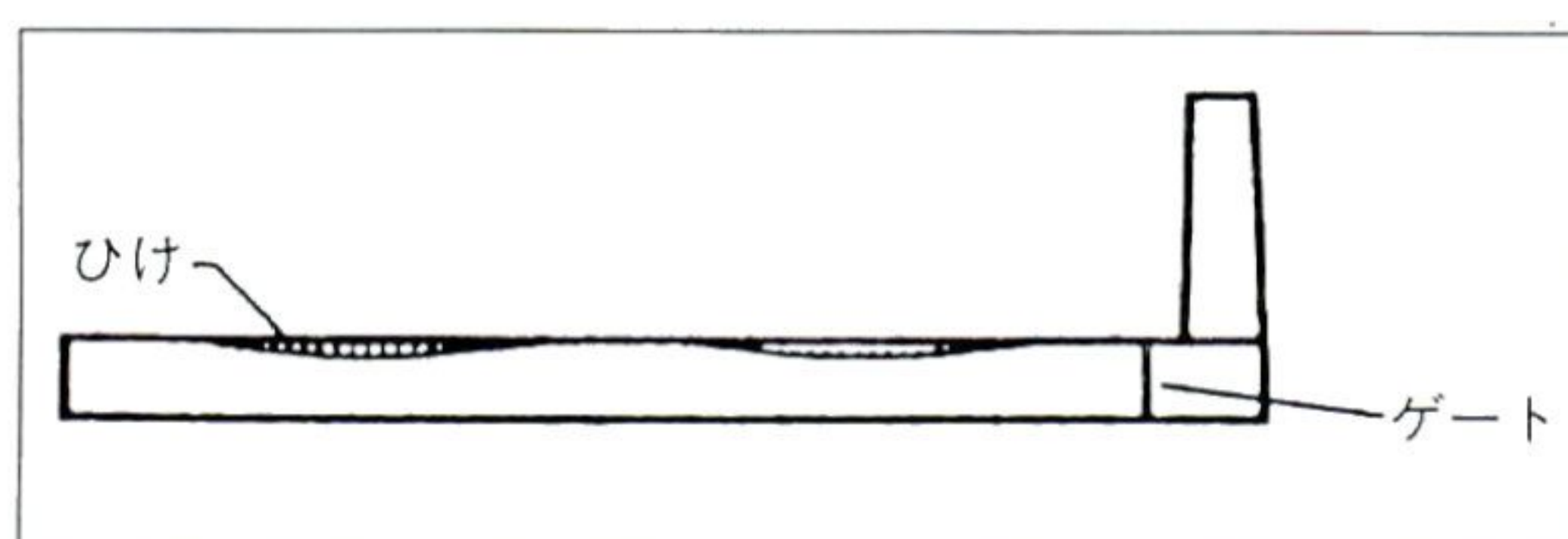


図6 上下の温度差が10—20 Kの場合、低温側にはひけは生じない。

急激な体積変化によるためである。次にひけの発生位置であるが、まず型に圧力をかけずに均一冷却して形成した場合、両面に同じようなひけが発生する(図5)。これは、金型付近の固化層が樹脂の収縮と同じように変形するためである。そこで、金型の温度を上下非対称にしてみる。上下の金型の温度差が10-20 Kになると、低温側にはひけが発生しない(図6)。低温側に接した樹脂がいち早く冷却され剛性の大きな固化層となり、樹脂の体積変化に対して移動が困難となるからである。しかし高温側の温度を上げ、ある温度以上にすると、低温側にひけが発生し、高温側には発生しない。しかしこの原因はまだ良くわかっていない。これに従えば、ひけを制御することが可能となるだろう。また樹脂材料といった材料工学分野の研究などの、境界を越えた研究も今後必要となってくるであろう。

(注1) ひけ

材料が高温から冷却されていく過程で、体積収縮し成形品の表面にできるへこみ。

(注2) 複屈折

結晶に偏りが生じることにより、光が通過するとき通常偏光のほかに、異常偏光が生じる現象。

(注3) 熱応力

この場合、冷却にともない表面と中心部の体積変化の差が生じたためできた応力。



## 研究室を身近に——院生のお話

黒崎研には学部生6人、修士6人、博士3人の計15人が所属している。各人が様々なテーマに取り組んでいて、現在は射出成形、流動層、冷熱関係を主な研究課題としている。

研究内容の紹介からも分かるように、黒崎研では実験が重視されている。コンピュータによるシミュレーションだけでは、実際の熱現象とかけ離れる恐れがあるからだ。もっとも、ふだんは実験だけというわけではなく、それを確認するシミュレーション計算も行う。実験はつらいことも多いそうだが、必ずどこかに面白みがあるという。

研究以外では、みんなでバスケットボールをやったり、バーベキューやクルージングなどレクリエーションも盛んに行っているそうだ。また野球や相撲などスポーツの話は、教授も巻き込んで盛

り上がるそうだ。

実験の様子や、下級生に言いたいことなどを院生の方々にお聞きした。

——実験で苦労した思い出は？

「数十万円もする機具を壊してしまったとき、助手の人にそのことを知らせるのがとても恐かった。事情を説明したら許してくれたけど……」

「実験でいちばん必要なのはお金かもしれない。高価な実験設備があれば楽なのに、と思うことがある。でもそんなに高価なものは買えないから、たいていのことは周りにあるもので済ましてしまう。そうすると時間はかかるが、実験機材の配線、仕組みなどが良く分からないと実験ができないので、理解は深まる。また、この機材はこんなことにも使えるのか、という発見もある」



——実験で一番うれしいことは？

「やはり予想した通りの結果が出てきたときだね。でもそういう時に限って、よく調べると装置に不備があって、ぜんぜん使いものにならないデータだったりする」

——失敗談などありますか？

「わずかなところを熱するのに、ちょうどいいものがないので、研究室でガスバーナーを買うことになった。みんなうれしくなって、つい火炎放射器のような大きなガスバーナーを買ってしまい、結局何の役にも立たなかった」

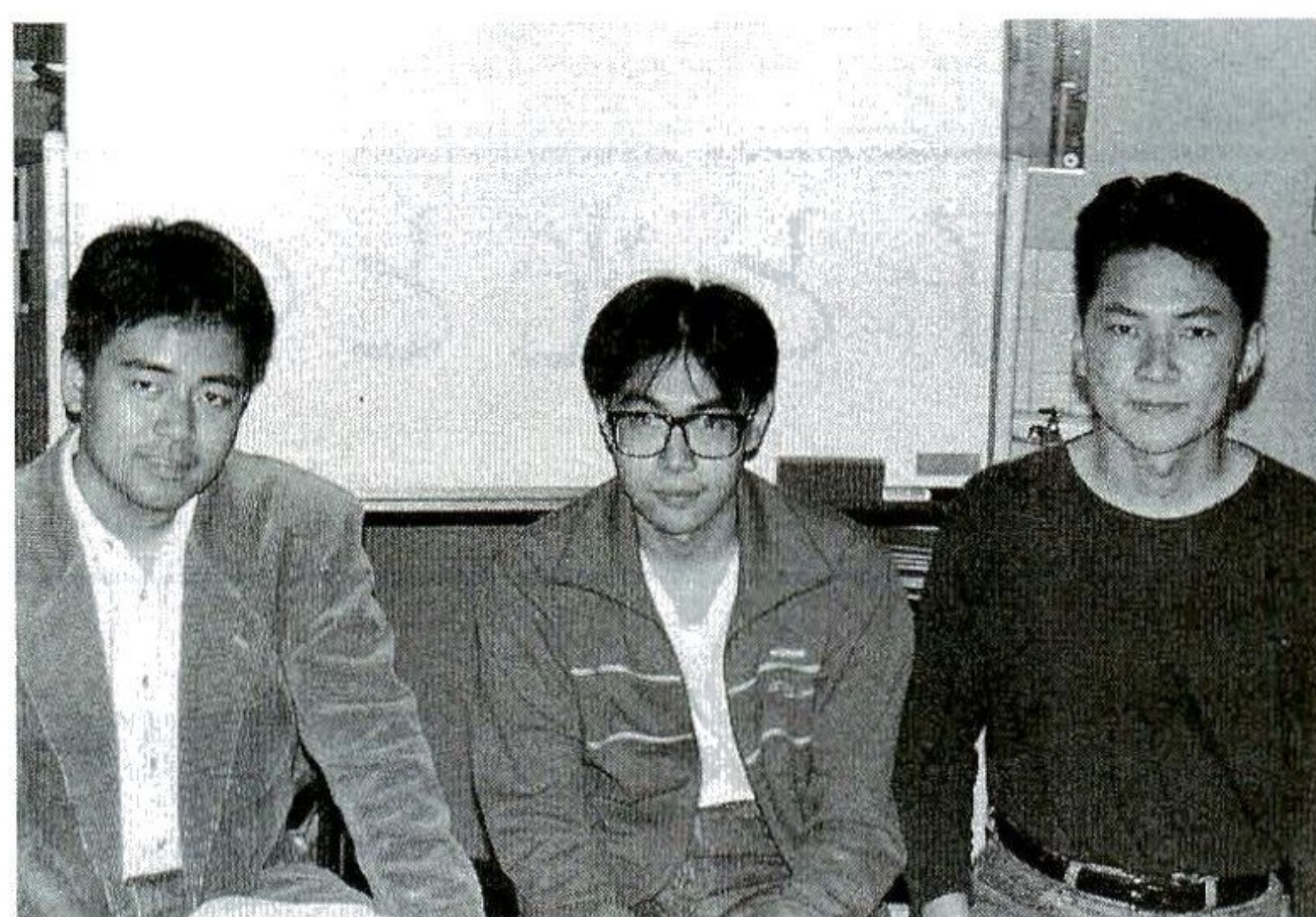
「冷熱の搬送システムの実験をやっていた時のこと、パイプのどこかが詰まったのに圧力をかけ続けついに爆発！ 翌朝みんなが研究室に来てみると、一面雪が降りつもったような状態……。その後の掃除は大変だった」

「うちの研究室は性質上、大がかりな実験設備がいる。でもスペースが限られているから、実験をやったら片付けないと何もできない。年中掃除している感じだね」

「4年生の中には、ワゴンに機材を載せてコンセントさえあれば実験できるようにして、邪魔にならないようにあっちいたり、こっちいたりして、実験している人もいるしね」

——大学院に進んだ理由は？

「真面目に言うと、このまま卒業して、本当に社会で通用するのか不安だったから。不真面目に言うと、もう少し遊んでいたかったからということかな。大学院に進むかどうかは、人それぞれの価値判断だ。でも一つだけほとんどの人に共通して



黒崎・佐藤研究室の院生の方々

言えるのは、4年生一年間だけでは、何をしたらよいかははっきりと分からないで、一年間何を勉強してきたんだろう、と思いながら卒業を迎えるということだ」

——下級生に言いたいことは？

「できるだけ早いうちに教授や院生などと仲良くなっておいたほうがいいよ。研究室がどんなものかとか研究室の雰囲気も分かるし、勉強以外のことでも何かしら役に立つと思うよ」

「2年、3年と上がって行くにつれて実験、演習などで助手や院生と接する機会もあるが、1年生はそういうこともあまりない。そういうときは、研究室をのぞいてみるのもいいかもしれないね」

「下級生は、研究室というと何か近寄り難いすごいところと思っている人が多いが、実際に研究室所属してみると、そんなことは全くない。下級生に、そういうふうに研究室を見て欲しくない。もう少し暖かい目で研究室を見てもらいたいね」

黒崎先生からも色々とお話を伺いましたが、紙面の都合上、どうしても掲載できませんでした。しかし、どうしても紹介したかったことは、「現在の学生の多くは、だいたいのは、研究されつくしていると思い込んでいるが、そんなことはない。手をつけられていない事のほうが多いのだよ」ということです。私もはっとさせられました。

研究室のみなさんはとても親切で、お話も面白

く、取材後も学生の部屋に案内して頂いて色々とお話をして下さいました。今まで持っていた研究室に対するイメージが崩れ、目から鱗が落ちる思いでした。このことが読者のみなさんに少しでも伝われば幸いです。

最後に、お忙しいところ不慣れな取材に快く応じて下さった、黒崎先生、佐藤先生、研究室のみなさんに心から感謝します。

(鈴木)