

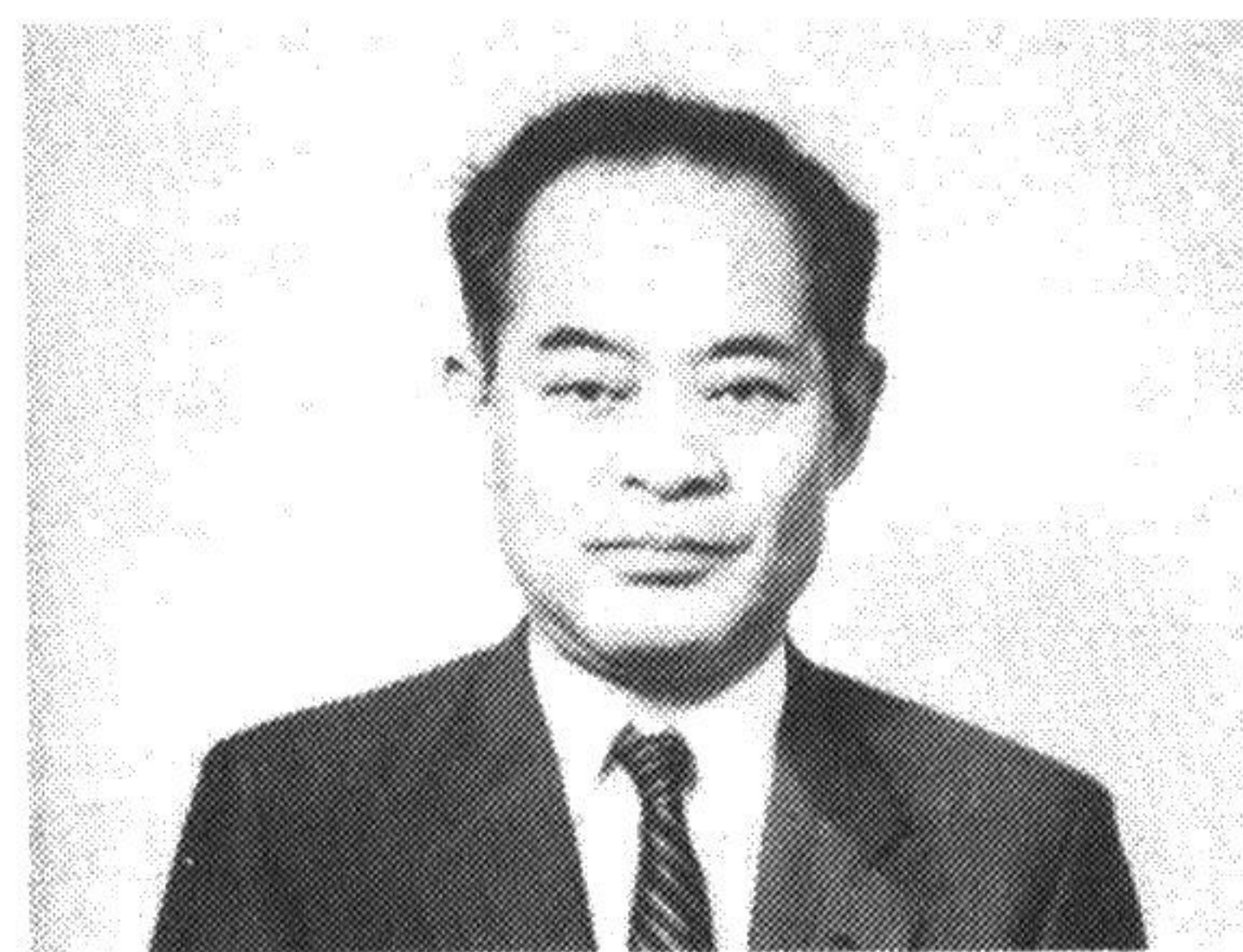
# セラミックスの機械的機能を調べる

——木村・松尾研究所～無機材料工学科——

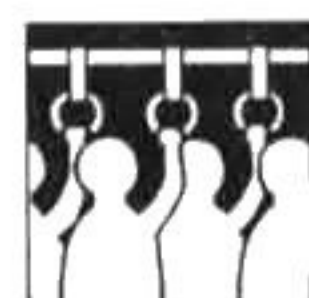
セラミックスは様々な用途に使われる。耐火物、耐食性材料、構造用材料、電子材料、磁性材料など、挙げればきりが無い。それらのセラミックスの機能は大きく2つに分けることができる。それは、結晶格子に関する機能と電子や光子に関

係する機能である。

今回取材した木材・松尾研究室は無機材料工学科で機能性セラミックス講座を担当している。そして、ここでは結晶格子に関する機能、すなわち熱的機能と機械的機能を中心とした研究が行われている。



木村 脩七 教授



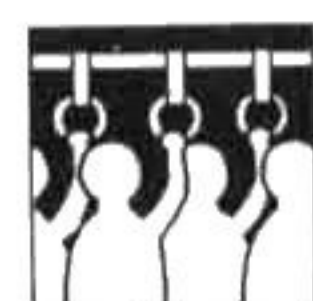
## 材料の安全性を考える

材料の破壊をどのような観点で捉えていくか？これは重要な問題である。例えば、航空機の疲労や原子炉容器の安全性の問題は、材料中の見えない亀裂や欠陥に深く関わっている。そして、このような問題を解決するためには、材料中に亀裂が入ったときにどのくらい安全かということを知らなくてはならない。木村・

松尾研では、こうした材料の信頼性を知るために、破壊力学、統計論、そして材料科学を柱として研究を行っている。そして具体的な目標として、構造用セラミックスの機械的性質、特に強度と破壊じん性の評価技術と評価理論の確立とを目指している。



松尾 陽太郎 助教授



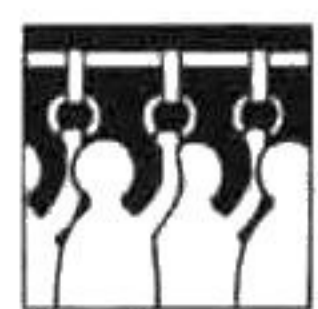
## 高強度材料を目指して～C/C複合材料

木村・松尾研における研究テーマの1つとして、セラミック基複合材料の開発とその機械的性質の評価がある。そして、その柱の1つとして現在C/C複合材料について研究されている。C/C複合材料とは、高い強度を持つ炭素繊維で強化された黒鉛材料のことである。これは、高温域での強度が高いために、現在すでにスペースシャトルなどに使用されている。そして、宇宙往還機的主要構造材料としても期待されている材料である。

C/C複合材料は高温強度が高い反面、酸化雰囲気中で燃えてしまうという欠点がある。よって、いかに耐熱性を上げ耐酸化性の問題を克服するかが研究における1つの重要なテーマとなっている。

C/C複合材料の特性として、もう一つ破壊じん性の高さが挙げられる。しかし、この破壊じん性の評価は簡単にはできない。そのため、破壊じん性の評価技術と評価理論の確立が必要であり、木村・松尾研でもそのための研究が進められている。





## いかに均一につめるか？～セラミック粉体の成形

セラミックスの製造過程を考えてみよう。セラミックスを作るために一番最初に行うのは個々の成分の粉体の合成である。そして、次にその粉体の調整、すなわち個々の成分の粉体を望みの成分比に混合しなければならない。そして、それを望みの形に成形し、仮焼(固相反応)、焼結させることによりセラミックスは作られる。これを加工し、特性評価を行うことによって製品が完成するわけである。

けである。

こうして作られたセラミックスに高い信頼性を持たせるには、全ての製造過程において最適な制御が必要となる。それは、1つの過程が狂ってしまうだけで、後の過程にも影響を及ぼし、高い信頼性を持つ材料を作ることができなくなるからだ。

セラミックスの製造過程において木村・松尾研が特に注目しているのはセラミックス粉体の成形である。

粉体の成形は次の段階の焼結に持っていくには非常に大事である。もしも、成形がうまくいかなければ、次の焼結においていい結果を出すことができないのだ。

粉体の成形の成否の鍵は、いかにして均一・均質に粉体をつめるかにかかっている。そして、そのために有効なのが、木村・松尾研で開発されたサイクリック C. I. P. という手法である。

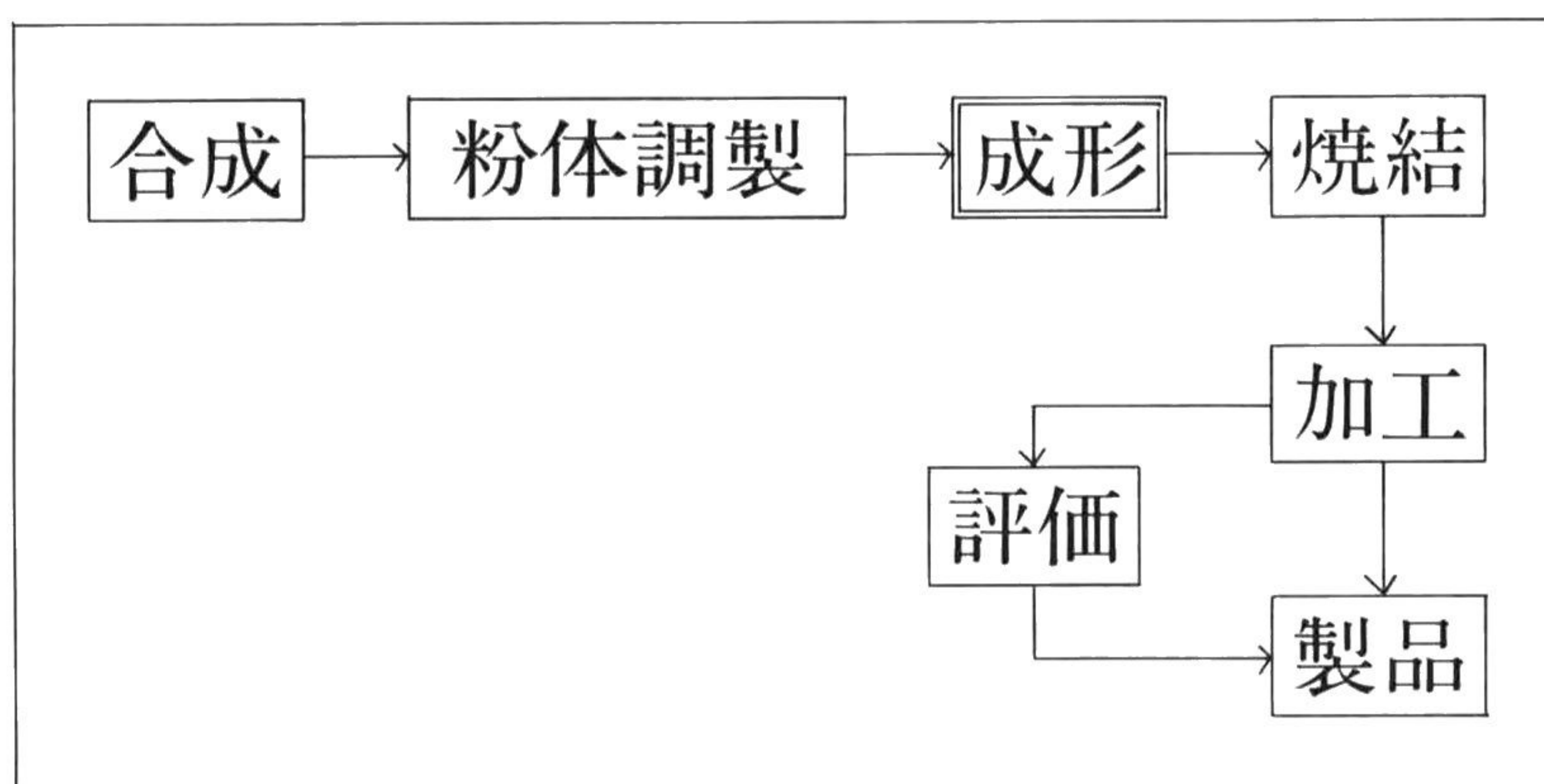
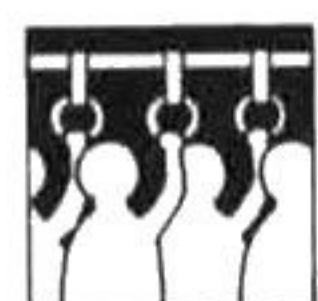


図1 セラミックスの製造過程



## 満員電車にゆられて～サイクリックC.I.P.

C. I. P. 法とは冷間静水圧成形法 (Cold Isostatic Pressing) のことである。この手法についての説明をしておこう。まずセラミックス粉体をゴム製の型の中に入れる。そしてこれを圧力媒体となる液体の入った圧力容器の中に入れる。これを加圧すると、パスカルの原理より粉体が均質につまるのである。

従来の C. I. P. 法は、図2のように一定圧力でしかも1回だけ加圧を行なう。しかしこの手法では均質で高密度な材料を得るために、通常数千気圧もの高い圧力が必要になってくる。それは、ただ1回高い圧力をかけるだけでは互いの粒子が図3のようにがっちりとかみ合い、そこに空間 (pore) ができてしまうから

である。すなわち、圧力を大きくしても、この空間は多少は縮まるが残ってしまう。よって、高い密度を得るためにはより高い圧力が必要となるのである。

それでは一定圧力ではなく、図4のように圧力波を繰り返し負荷してやればどうなるだろうか？結果は、従来の C. I. P. 法よりも低い圧力で高い成形体密度を得ることができるのである。これが木村・松尾研で開発されたサイクリック C. I. P. 法である。

何故この手法で加圧すれば低い圧力で高い成形体密度を得ることができるのか？これは、圧力波を重畳することにより、かみ合った粒子を振動によってずらすことができるから

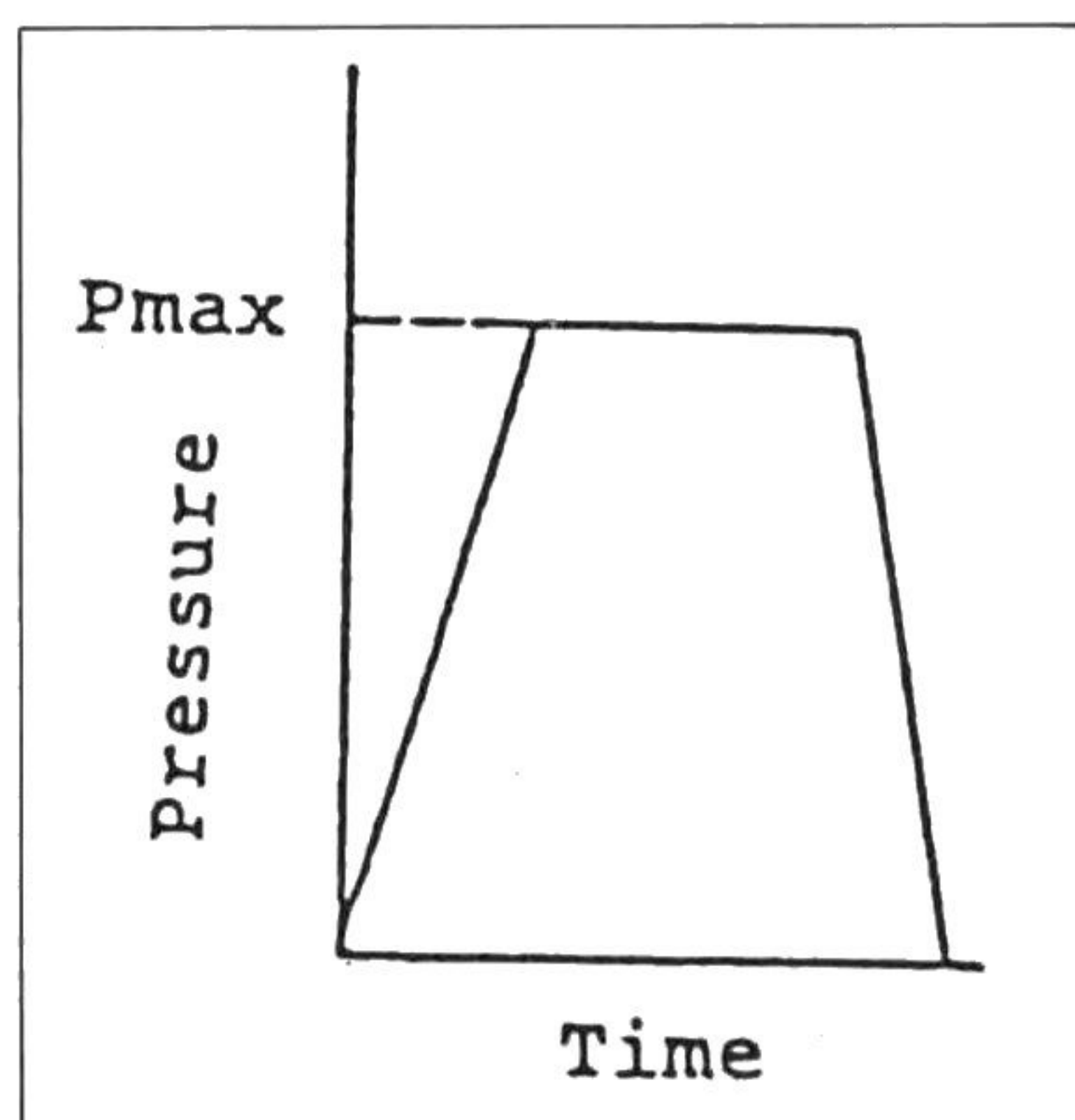
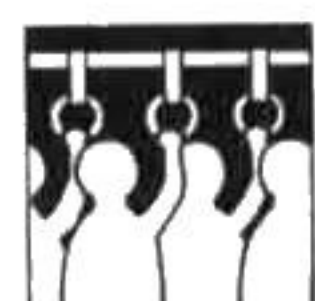


図2 従来のC. I. P. 法



である。それによって、粒子は粒子間のストレスの少ない、一番楽な配置につくことができるのである。これは、満員電車の中で電車が走り出してしばらくゆられていると、いつの間にかずき間ができるということがヒントになったのだそうだ。



## 材料の信頼性を測る～ワイブル統計

セラミックスを実際に構造材料として使用するには、その材料の機械的性質や信頼性を知っていなくてはならない。そこでそのための理論が必要となってくる。具体的には、巨視的である機械的性質と、微視的である材料の微構造とを関連づけた評価理論の開発が必要であり、木村・松尾研でもその研究を行っている。

材料の機械的性質とその微構造を関連づけるにはどうすればいいだろうか？それには破壊力学の他に、破壊統計、特にワイブル統計を考えることが必要になる。ではワイブル統計とは何か？セラミックス中には微小欠陥が多数存在する。そしてその

この手法は、比較的低い圧力で高い成形体密度が得られるというところに大きな利点がある。すなわち、従来よりも均質で密度の高い材料が比較的Lowコストで作れる。しかも、信頼性の高い、より大きな材料が作れるようになったのである。

欠陥寸法の分布が変動するために、強度が変動量となる。従って強度のデータを取り扱うときはこれを統計的に考えなければならない。このときに材料の生存確率、すなわち破壊に至らない確率を推定するための統計理論がワイブル統計である。

木村・松尾研では、材料中の亀裂の存在を前提とし、その亀裂の分布による強度のばらつきを考えた評価理論の開発を行い、これにより、材料の信頼性を高めようと考えているのである。これは例えば、構造用セラミックスを使って、ガスタービンエンジンをどのように設計するかを考えるときの理論的背景となる。

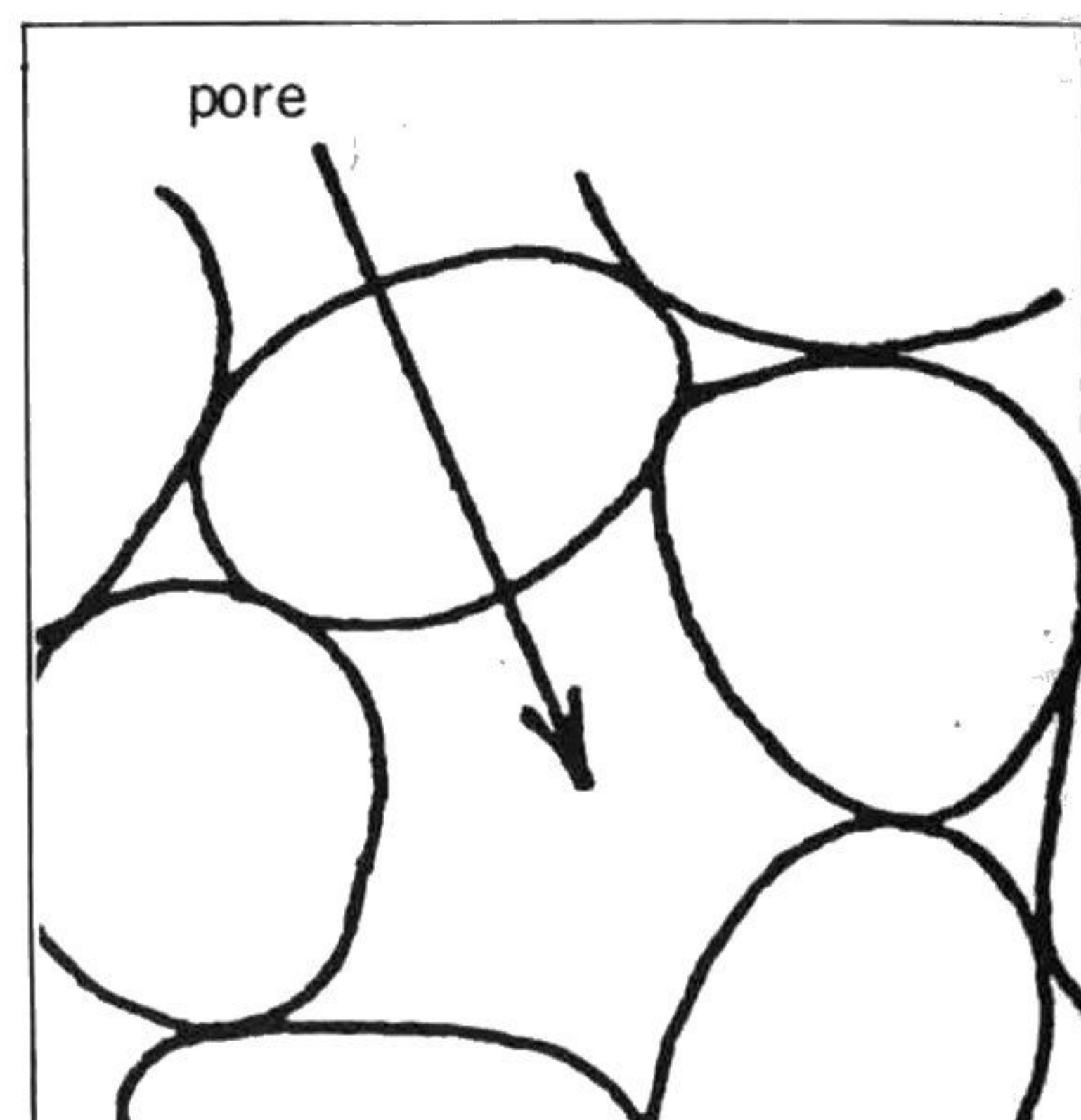


図3 粒子によるporeの形成

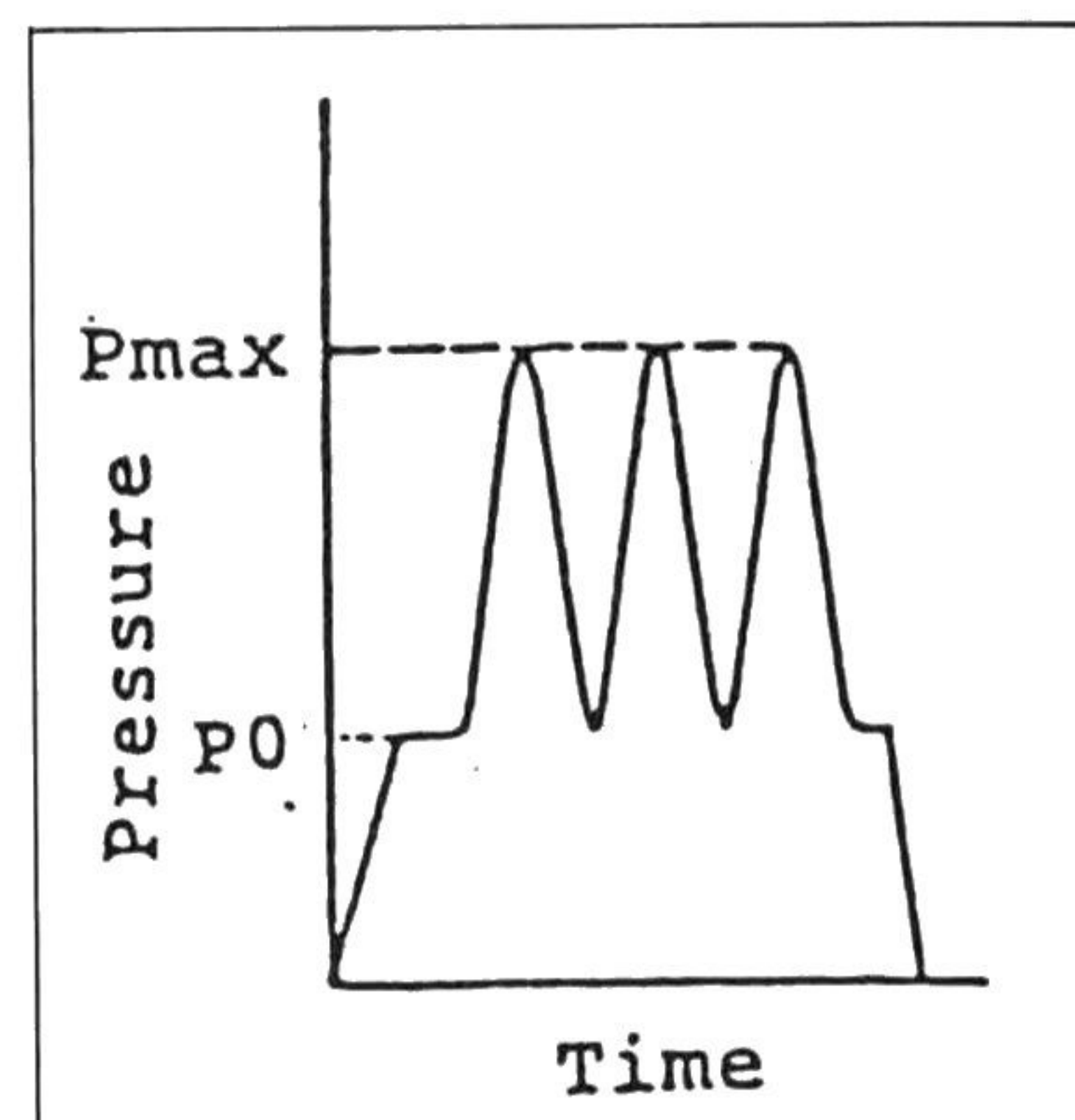
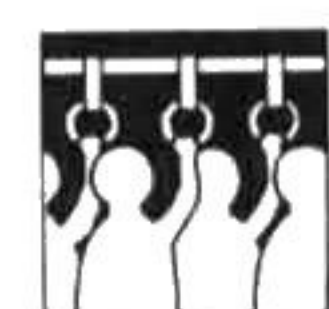


図4 サイクリック C. I. P. 法



## 力学場での材料破壊と比べると～絶縁破壊の挙動

木村・松尾研で進められている研究の中に、1つおもしろい研究がある。それは、絶縁破壊の挙動についての研究である。

絶縁体、あるいは誘電体を上下からはさんで電位差を与え電場をつくる。そして、その電場を強くしていくと、ある強さで絶縁状態が破壊される。これを絶縁破壊という。そして、これにより材料中にジュール熱が発生して材料を溶かしてしまう。

セラミックスの大きな用途として絶縁材料がある。例えば、超LSIもその1つであるが、超LSIは基板が薄いために、小さな電位差が与えられるだけで大きな電場が生じる

ことになる。その結果として絶縁破壊が生じるという問題が起こる。また、高分子材料もテレビなどで絶縁材料として使用されているが、これも大型化による破壊などいろいろな問題が生じる。このように、絶縁破壊の問題は古くからあったのだが、それをうまく説明できるいい理論が今まで存在していなかった。それを木村・松尾研では、ある観点から見ると力学場における材料破壊に共通するものがあるのではないかと考えたのである。すると、絶縁破壊の挙動をうまく説明できることがわかったのである。材料の諸物性は場の問題として考えることができる。そし

て、場という観点から見ると、力学場における材料破壊も電場における絶縁破壊も、似たような法則に従うのだ。

このように、研究の材料というのは案外身近にあるものなのかも知れない。それを探すために一番大事なことは、基礎学問に対する深い理解であると、最後に松尾先生は語って下さった。

(協坂)