

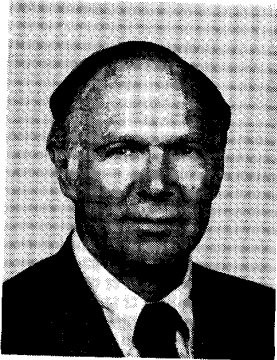
© 1985 ISIJ



移 り ゆ く 材 料 事 情

The Changing Scenes in Materials

Harold William PAXTON*



1. はじめに

議長, ISIJ の賓客と幹部諸氏, 紳士淑女の皆様。

私はこの講演に入るに当たつて, 本日この席に加わり, 特に ISIJ の名誉会員として皆様から推薦されたことにつき心から感謝申し上げたいと存じます。御返礼としては不十分でしょうが, AIME 特にその冶金部と鉄鋼部, および ASM からのお祝の言葉をお伝え致します。ASM からの祝辞は, 昨年中その会長の重職にあつた D. J. BLICKWEDE 博士よりすでに述べられたことと思います。

さて私は本日の演題につき, 私が自信をもつてお話しできるほどよく知つている事柄の中で, 何が聴衆である皆様の興味に答へ得るかについていろいろ考えをめぐらせました。理屈の上では鉄鋼業のある側面につきお話しすべきでしょうが, これは“carring coals to Newcastle” (注: ニューキャッスルに石炭を運ぶ, 日本の「釈迦に説法」に近い表現) という諺どおりであることにすぐ気が付きました。

しかしその代わりとして, 貴国の鉄鋼会社が鉄鋼以外の材料に対してとみに旺盛な関心を示しておられますので, このことについてお話しすることと致しました。この話題は私の持ち時間にとつては余りに広いので, 範囲を限らねばならず, また限るかぎり多少主観が加わりましょう。そこで私は大方の皆様の興味の中心と思われる材料について話題にすることと致しました。多分皆様は金属特に鉄鋼にまず興味を持たれ, 同時に利用の機会があると割合たやすく認められるセラミックス, 移行がより困難なポリマーや複合材料, さらに移行が困難で関係の薄い光電子材料のような話題を念頭に置かれていることと思います。

以上申しましたことは, ここでセラミックス以下の材料の問題の重要性を私が軽視しているわけではありません。これらはすべて将来欠くことのできない材料であり, これらのうちの多くの分野における貴国の開発は一

流であると申せましょう。しかしここで皆様に申し上げたいポイントは, どこかほかの場所で討論した方がより適切なある種の材料を除外してもあまり大きく変わらないと考えます。また正直に申しまして, 私が個人的に精通している話題についてお話しした方が多分うまくやれるだろうと存じます。

さて, 私が本日ここでお話し申し上げたいことは四つの項目にわたつております。

まず第一に, 皆様方にもお馴染の例によつて強調したいことは, 重要な現象について, 後進者が数十年にわたつてこれに基づいて発展的業績を築き上げられるような, 時宜になつた解釈とモデル化を進める上での個人の重要性であります。第二に私はある種の材料から他種の材料へ基礎概念を移し変えるという重要なアイデアを議論したいと思ひます。第三に私は皆様にいかにして materials science が米国において一つの学問分野として発展してきたかについて私の印象をお伝えしたい。それは materials science が常によい状態にあつたからではなく (実際にも常によかつたわけではない), 皆様が貴国での研究援助と管理体制の枠内で, 貴国のために役立つ何らかの教訓を引き出し得るかもしれないからであります。最後に, 私としては何とも意見の述べにくいことではありますが, 将来一体何が米国にも貴国にも有益であり, また何が貴重なプロセスと製品およびこれらの利用の機会を世界的に蓄積していくことを可能にするかということでもあります。

materials science の発展はあとで詳しく述べますように, 多少とも必然的に三つの歴史的段階に分けられます。1950年頃以前の第一段階では多くの発展が通常大学の冶金学科, セラミックス学科, 物理学科において個人によつてなされました。産業界の研究所の貢献は, Bell 研究所のシリコントランジスターのような決定的重要性をもつ少数例を除くと, 余り活発ではありませんでした。

第二段階では, 個人の役割は依然続きましたが, 他の

昭和 60 年 3 月日本鉄鋼協会創立 70 周年記念式典における湯川記念講演
昭和 60 年 4 月 12 日受付 (Received Apr. 12, 1985)

* United States Steel Corp. 副社長
翻訳: 三井太信 (日本鉄鋼協会)

組織化されたグループが新たに登場しました。これらのグループは時には学際的のものであり、特に産業界と政府機関にその傾向が認められました。しかし一般には、他の機関との共同研究はほんのわずかでした。また、学界では学科間の障壁が依然高いままでした。公正にみて、この段階では基本的な材料概念の発展に参画した化学者は少なかつたと信じております。

今でもなお活動的で発酵中とでもいうべき状態にある現段階では、知識の高揚だけでなく国際競争力という視点に立つて、産学官の諸グループが特定の材料の共同開発に盛んに取り組んでおります。

2. 個人的貢献の役割

私は貴協会の年令よりいくらか若い身であります。私の職歴は初めから materials science の分野にわたっておりまして、幸いなことにこの分野の多くの指導的先駆者の方々と個人的に識る機会に恵まれました。私は冶金学者としての訓練を受け、博士論文は数 ppm の炭素と窒素を含む鉄単結晶の機械的性質に関するものでした。私の論文の指導教官は Alan COTTRELL 教授で、定量的なチェックに耐え得るモデルと理論を發展させることの重要性を学んだのは彼からでした。またこのことは誠にむずかしいことも学びました。(注：スライドに“Muzukashiine”とあつた)

皆様の中には偉大な 19 世紀の自然哲学者である William THOMSON (後に爵位を受け Lord KELVIN と呼ばれた) の言明を御存知の方がきつとおいでのことと思います。1883 年の測定 of 電気単位に関する土木技術者協会における講演で、彼は言っております。「それを測定できないとき、つまりそれを数値で表現できないときは、それに関する諸君の知識は不十分かつ不満足のものである。このような知識は知識の初期段階であるかもしれない。だが諸君の思考の中で科学の状態まではまず進み得ないものである……。」と。

COTTRELL 教授に遠慮のいらぬ同僚の一人である Jock ESHELBY は、かつて私に余り感心しない言葉で、「このような考え方でいくと、すべての科学はまさに数学であるか、さもなければスタンプの収集である。」と批評しました。私の考えでは、材料の歴史を回顧すれば、“スタンプ収集”に類する研究が少なくありません。すなわち、対象とする現象に及ぼすある変数の影響の研究でありまして、これらはしばしばよく計画されており、この特定の現象に関する百科辞典的知識は得られます。しかし、このような知識は多くの場合、真の理解と呼びがたいものが多く、また予測能力をもたないことは確かであります。私自身の業績の中では応力腐食割れという厄介至極な研究課題がこの部類に属します。

真の進歩は誰かが満足できるモデルをつくり上げることができ、このモデルが既知の事実を説明すると同時に、

モデル化のときの仮定をチェックするための決定的な実験を示唆した時にのみ実現するものであります。例えば、鉄から炭素と窒素のすべてを除去したことの影響は LOW と GENSAMER¹⁾ によつて示されてはきましたが、これに伴つて降伏点とリュース帯が消滅する現象は、理解の根拠として、格子間原子と転位間の結合エネルギーの存在の可能性についての COTTRELL の観察力²⁾ を必要としました。そして、この COTTRELL の功績はその後さらに粒界脆性破壊に対する初期の理論的攻撃力を高めたのであります。

今なお私にとつての真の驚きは、マクロ的規模で知覚された性質から、原子的規模で起こる過程を脳裏に書き、さらに例えば拡散係数、相互作用エネルギーなどの基礎的な熱力学的あるいは動力学的パラメーターを決定的な実験によつて測定する方法を示唆し得た初期の先駆者達の構想力であります。これを例示するため、私は固体の内部摩擦についての理解の根拠を發展させるに至つたあの見事な研究を思い起こしていただきたいと思ひます。

擬弾性 (anelastic) 現象、すなわち応力とひずみが塑性領域以前の段階において厳密に直線関係を示さないという固体の性質は、150 年間にわたつて種々の証拠によつて知られていました。鉄中の格子間溶質原子のような特殊な場合には、1895 年に CANTONE³⁾ が温度の関数として鉄の内部摩擦における異常現象を認めていました。1903 年には WOODRUFF⁴⁾、1910 年頃には ROBIN⁵⁾ が焼なました炭素鋼中での音の減衰について研究し、室温の直上の温度で、著しい減衰率の増大が起こることを示しました。1940 年頃のさらに精緻な実験の結果、上記の現象の原因である炭素と窒素の原子の役割に関する SNOEK 理論⁶⁾ が導入されたのであります。

SNOEK は鉄のような体心立方格子中の格子間原子は非対称の応力場を形成し、そのため外部応力が加わると、そのランダムな位置を系の全自由エネルギーが最小となるような優先的分布に変えることに注目したのであります。Clarence ZENER⁷⁾ は統計力学理論を展開することにより、すべての実験データを収集してよく理解された知識体系とし、またこれによつて内部摩擦測定を原子的規模の現象を解明するための素晴らしい手段に変えるという画期的役割を果たしました。

数個の実験上の変数を変化させることにより、拡散係数と直接的な関係をもつ個々の原子の運動周期、一個の原子を応力のもとでランダム位置から優先位置へ移動させるためのエネルギー (結合エネルギー)、内部摩擦のピークと固溶している格子間原子の濃度との関係が評価可能となつたのであります。この最後の概念は、今日私どもの鉄鋼業において、鋼中の低濃度格子間元素の量と分布を決定するために日常使われておりますし、また最高級深絞り用薄板、特に IF 鋼 (注: interstitial-free

steel) や連続焼なまし用の最新鋼種の開発に貢献する所が大きかつたのであります。

擬弾性現象はこの程度にとどめ、私どもの誰がますます関心を深めている分野での第二の例として Paul FLORY の基礎的な研究について述べましょう。彼は共有結合鎖状分子の形態に対して統計力学的考察を適用することによつて、ポリマーに関する理解を増進させたのであります。鎖状高重合構造の本質的性質は早くも 1869 年に KRAUT⁹⁾ によつて polysalicylide (ポリサリシライド) について発表されてはおりましたが、数万とか数十万、時には数百万という分子量の概念にはなかなか到達しませんでした。STAUDINGER⁹⁾ は鎖状という概念に向かつて伸びていく上での第一次原子価の寄与を明確にする論文を 1920 年に発表しました。しかし当時これはなかなか受け入れられませんでした。分子のキャラクタリゼーション技法が進歩するにつれて、ポリマーに関する近代物理化学の基礎を確立するのに貢献した FLORY の重要な業績¹⁰⁾ を認める気運が醸成されました。溶液論、ポリマー分子の統計学およびポリマーの相転移理論に関するこの業績は、1974 年に米国化学会の最高名誉である Priestley Medal、さらにその年の後半にはノーベル化学賞によつて完全に学界から認められたのであります。

甚だ興味深いことは、materials science は最近の 15 年間に数回ノーベル賞の対象となりましたが、いずれも 20 年とか 30 年前の重要な学問的進歩が高く評価された結果であるということです。これらは磁性の物理学 (1970)、超電導理論 (1972)、江崎氏の量子トンネル効果 (1973)、磁性体と無秩序体の電子構造 (1977)、レーザーと電子分光学 (1981)、相転移理論 (1982) でありました。

3. 概念の移転

私の講演の第二部は材料の一分野から他分野への概念の移転についての二つの例を挙げることであります。これらの例は今では自明のことのように見えますが、事実当時としては、材料に関する広範な知識と理解、ならびに一つ概念を現実へと発展させていく革新的な考え方を要することでした。

私の申し上げる第一の例は、最近日本で著しく活発となつた機械的信頼性の高いセラミック材料の分野に革命的進歩をもたらした結晶粒度と界面の役割を皆様思い起こさせるでしょう。過去何千年の間、セラミック製品は “a disaster looking for a place to happen” (注：起こる場所を捜している破滅) であり、Frank PRESTON の優雅な表現では、“all ceramics die a violent death” (注：セラミックスはすべて悶絶する) でありました。

天然物質から伝統的方法でつくられる時、セラミックスには二つの要因すなわち結晶粒界や相境界におけるき

裂とポイド、き裂が伝播しはじめると止めようがないこと、がつきものでした。Eric HALL¹¹⁾ と Norman PETCH¹²⁾ によつて 1950 年代の初めに定量化された靱性における結晶粒度の重要性についての冶金学的知識経験に基づいて、最近のセラミックス研究は、ミクロン以下の超微粒で寸法の均一な圧縮成形前の合成素材に集中しております。一方これら合成素材の製法は、セラミック学者には縁がなく、コロイド化学者によつて長年開発されてきた概念に頼つておりました。これらの本来微細な粒子は、焼結後により少数でより小さいポイドしか生成しないため、き裂の伝播に要する応力を増大させます。靱性も冶金学や複合材料から移入された技法によつて改良することができます。すなわち交切している相境界や埋め込まれた繊維のところでの層間はく離のようなエネルギー吸収機構、あるいはき裂先端部での相変態などによつて、き裂を停止させる方法です。この後者の技法は部分的に安定化された zirconia (ジルコニア) に巧みに利用されております。

“概念の移転”の他の適切かつ巧妙な例は非晶質材料の分野であり、ここでは従来の結晶質材料とは著しく異なつた性質にしばしば遭遇します。基本的アイデアはカリフォルニア工科大学の Pol Duwez とその学徒達の立派な研究¹³⁾ から始まりました。すなわち 1950 年代の終わり頃に、 10^6 °C/s までの冷却速度を達成し得る比較的簡単な装置を用いて非晶質箔をつくることができました。

ここ 20 年間にわたつて、急速凝固技術 (RST) を利用して多くの開発が行われました。金属ガラス (注：ガラスは非晶質材料の代表的なものであることから、非晶質金属のことをいう) がつくれないとしても、急速冷却によつて得られる微細粒度と過飽和固溶体は興味深くまた有用な性質をもつ材料を生み出すのに役立つことが多いと思われまふ。

非晶質材料の製造では、冷却中に結晶化の開始を抑える “glass-forming” (非晶質相を生成しやすくする) 溶質原子を添加しても、熱流という基本的制約が焼入れ可能な大きさを制限します。最近の一連の実験により、Bill JOHNSON はカリフォルニア工科大学と AMES (注：本名不詳) の同僚と協力して、液体からの焼入れを含まないため、少なくとも原則的には大きさとは関係のない非晶質材料をつくり出す方法を案出しました。基本的には、急速に拡散する元素である水素ガスとの反応によつて、非晶質相は結晶質相からつくり得るという見解¹⁴⁾ に基づくものです。ある種の固溶体でもこれと同様の変則的な急速拡散が起こり得るのであります。このように異常に大きな拡散速度が、ガラス化温度以下の温度すなわち新しい結晶質相の生成を阻止できるくらい十分低い温度で、数百 Å という相当長い距離にわたつての拡散を可能にするならば、また十分な駆動力を供給する大きな負

の生成熱が得られるならば、非晶質材料は固体から直接つくり得るのかもしれませんが、このような条件は Au-La 合金および他のいくつかの二元合金に存在することが事実として示されました。この場合、各成分の拡散距離はほぼ数百 Å 程度でした。

この研究は“bulk” (寸法の大きい) 非晶質材料を供給するにはいまなお初歩の段階にあります。すべて固体の状態だけで非晶質相を生成するという概念は実証されたわけであり、必ずや積極的に研究が進められ、より古典的な RST 法に迫りつくかもしれません。

私は Lord KELVIN は材料の一分野から他の分野へ価値を転換するためには半定量的概念を用いることを私どもに許して下さると期待いたします。実は私の考えでは、このようなアプローチこそ将来の発展に生気を与えるものと思っております。

4. 材料教育・研究の支援

私の信じるところによれば、貴国の大学院教育の構図は米国のそれとは異なっており、一方欧州に特有なそれとも異なっています。私の理解に間違いがないとすれば、貴国では学部卒業生のうち非常に少ない比率の人々だけが大学のより高い課程 (大学院課程) に進み、他の人々はむしろ“on-the-job” (職場での実際の仕事を通じて) の訓練を受けております。

一方米国の活発な研究を行っている大学の教授は、極度に激しい研究資金獲得競争を行い、得た資金の大部分は大学院学生や学位取得者のための教育・研究訓練に費します。事実、研究グループのための予算額は、その教授の成功と威信の一つの尺度であり、また多くの場合彼の給料の少なからざる部分の源となつております。

ここ 20 ないし 30 年間にわたつて、これらの資金は基本的には政府諸機関から出ております。産業界からのものは最近では増加の傾向にありますが、10% にも達しませんでした。連邦政府資金の獲得競争に加わることは、多くの大学教授にとってほとんど一つの権利と見なされています。そんなわけで、この“zero-sum game” (注: 総額は決まつていてこれを取り合うゲーム) においては、新しい経営者側の接近に伴う特定の試験のために別途資金枠を設ける計画は、敵視とまでいえないまでも疑惑の目をもつて見られております。

私がここで特に強調したいことは、批判的かつ定量的理解を提供する上での個人の役割を決して軽視してはならないということであり、結局、このような理解の上ですべての一連の実際的開発の新分野が築かれるからであります。いかにして種々の場所に存在する研究チームによる開発を、個人的アプローチを重視しがちな大学の研究と効果的に結びつけるか、ということこそ重大な問題であります。私どもはいまだに初期の概念の上に研究開発を積み重ねているのであり、一般的に言つて文献

に発表されたアイデアが実用されるまでの時間的遅れはしばしば 10 年あるいは 20 年に及ぶのであります。誠に長い時間ではありますが、これは容易に変わりません。私はこのことを強調したために、主として 1950 年以前に行われた重要な個人的貢献を特に選んでお話しした次第です。もちろん私はもう少し近い時期の例、例えば JOSEPHSON 接合のような例を選ぶこともできたのですが。

1940 年代の終わりから 50 年代の初めにかけて、材料研究のための人的・物的資源を供給する組織体に大きな変遷が起りました。この時期までは、Bell 研究所、General Electric 社、Phillips 社、Siemens 社、Metropolitan Vickers 社、さらにつけ加えることが許されるならば一部の鉄鋼研究所のような数個所の初期の産業界研究所は例外であります。基礎的理解に基づくたいのの研究は通常“home made”(自家製)の装置しかない資源的に質素な大学において行われていました。ところが第二次世界大戦以降、経済が安定し、世界中の国々が再び拡大について考え始めた時、研究援助が加速的に国策の一部となりました。際立つて増加した資金援助の重大な結果の一つ、いやむしろ唯一の重大な結果は、新式の設備類が大学に置かれたことです。キャラクターゼーションのための分析やその他の技法は、急速に進歩し始め、またコンピューターがますます身近になつたため、その運用が容易になりました。コンピューターはまず計算用具として用いられましたが、大きさも原価も桁外れに下がるにつれて、今や実時間制御用として、また私にもまだ信じられないほどの細部にわたる試料の多面的データを得る総合的装置として用いられています。これらのシステムの一つは自動画像解析でありまして、USS Research の数人の幹部メンバー (Bob FISHER, Rich LEE, Jim KELLY, Jim WALKER) はこれの開発に大きな貢献をいたしました。皆様方の研究所でも方々で局部的組成や相分布の解析に役立っていることと思います。

さて私はここで、公的管理機構が材料研究に関与するに至つた発端についてお話ししたいと思います。この分野で米国が発展を遂げたらうらには、ここ 25 年間にいろいろの当事者達によつて激しい論争があつたのです。今から申し上げることについて、どのような特色が、貴国の置かれた環境下で、貴国に有用でありまた価値があるかを皆様御自身で判断して下さい。1950 年代の後期に原子力委員会、航空宇宙局、国防省のいくつかの計画は、深刻な材料関連の難問に突き当たりました。この事態が米国において大学における materials science に対する援助が十分であるかどうかについて多くの自己分析を呼び起こし、とにもかくにも莫大な資金資材が供給されはじめました。ここで特に関心を引くことは、上記の三政府機関によつて学際研究所群 (IDL's) が 1960 年代初期に設立されたことであり、これらの研究所群は、ある所定の大学における材料関連の種々の学科やグ

ループを一つの運営組織に引き入れようとする全国的な競争の後に特に設立されたのであります。このようにしてできたセンターに対する大学の寄与の一部には、適当なスペースと機器類の供与が含まれましたので、これによつて学際的各分野は地域的に近接することになり、理屈の上では材料の真の学際研究を育成する理想的条件をつくり出したこととなります。“学際”と“材料”の二語は多大の興味を呼び、研究所の成績は注視的となりました。これらの研究所の設立の一つの結果は、多くの一流大学にまず大学院レベル、後には学部レベルで学科を新設し、materials science と (または) materials engineering の分野で学位を与えたことであります。ところが採り上げられた講義において、間口に対してバランスのとれた奥行をどうとるかという点で、これらの計画の評価に関する非常に多様な意見が表明されました。また、全体の学生の数はここ 10~15 年間に増加しましたが、冶金学に特に興味を持ち、ひいては鉄鋼業で働く可能性のある学生の数は激減するという事実が現れはじめました。このセンター制度の有効性は長い目で見る外はないでしょう。

米国における材料研究を論じる場合、この分野の研究についての哲学と資金の大きさ、またプロジェクトの選択方法を討議しないわけには参りません。これは正確な意見を述べるにはむずかしい課題であります。私は少なくともある概括的な考えを述べたいと思います。材料研究は主として二つの源、すなわち私企業と連邦政府から研究費が供給されます。最新の総合的調査 (1979) によると、材料に関する工業的研究の費用は大企業研究所で毎年約 40 億ドル、連邦政府では 10 億ドル弱程度が使われるようであります。私の胸算用では、どちらの場合も“基礎研究”として類別できる額はそのうち約 4 億ドルであります。

上に述べた金額を全研究・開発費 1 千億ドルと比べて下さい。この研究・開発費は政府と民間でほぼ半々であります。これらの資金の驚くほど大きな部分が、特に工業部門では、化学薬品とプラスチックとゴムに使われます。米国の大学院課程における上記品目に関する甚ださやかな研究を考え合わせると、これらの分野の研究の多くは、日本式の“on-the-job”で勉強した職業人によつて行われていることは明らかであります。このことはまた、“academic respectability” (注：大学に対する社会的尊敬) は実利性とは全く一致しないことを示す一つの興味深い例であります。このような例は決して一つとは限りません。今日現在の研究費の推定は多分前記 1979 年の調査結果と余り相違はないと思われま。ただ政府機関が主導的立場で研究援助を変更する場合、政府の支援部門では関心の深い特別な研究課題への重点の移行が多分あり得ると考えられますが。

私はさきに、この政府の研究援助への慎重かつ多岐に

わたるアプローチは一般に熱心な研究者にとつて好ましいとされていると申しましたが、それはこのようなアプローチが研究者が自分の仕事に援助を引きつけるのにいろいろ都合のよい機会を与えるからであります。誰の目にもある種の非能率性がしのび込むことが明らかである限り、ある中央機関自体によつて計画された研究という含みをもつ“national policy” (国策) は意識的に避けようとする考え方が多くの人々の間で流行しております。

1970 年代の 10 年間、大きな学際的組織である国立研究所と産業グループと大学は、会議や出版のような通例的ではしばしば遅れがちなルートによる以外には、おのおのが特に努力して相互に情報を伝えあうことなく研究を行つて参りました。しかし国際競争が、材料とこれに依存する製品にとつて重要な多くの分野において激化してきましたので、“何かもつとよい方法があるに違いない”ということがだんだん分かつて参りまして、これが研究界のすべての部分に浸透しはじめたのであります。これに応じて教官、学生、設備のための資金が慢性的に不足状態にある大学は、研究費を全面的に政府資金に頼る代わりに産業界に求めはじめました。基礎研究の多くの分野で予算を削つた産業界は、現実的にみて大学で何を援助し得るかをますます厳しい目で模索しはじめたのであります。一方政府は、焦点と使命が失われたことを示唆した国立研究所に関する PACKARD 報告書によつてある程度姿勢を正させられたため、産業界と大学によつてこの巨額の政府資産が大いに活用されるように奨励することとし、その方法の探求に熱意を燃やしております。

共同研究活動に対するいくつかの障壁の除去、特に知的財産権の所有についての明確化、活発化した研究開発に対する税法上の優遇、独占禁止上の考慮についての今まで以上の啓蒙的なアプローチなどがこれに当たります。これらは私の意見ではとつくなされてしかるべきこととは思いますが、ともかく研究遂行上の新しい方法を切り開くことになりました。これによつて電子工学分野では Stanford の Center for Integrated Systems, Austin にある Univ. of Texas の Microelectronics and Computer Corporation, North Carolina 州の Semiconductor Research Council のようなベンチャーが発足しております。本日多くの皆様方に関心の深い鉄鋼分野では、政府は鉄鋼その他の会社、大学、国立研究所で構成する数種の資金共同体 (consortia) を組織し、例えばセンサー、電炉操業、薄鉄片製造法などに関する諸研究計画を推進しております。また KR プロセスによるコークスなし鉄鋼製造法を探求する計画がちょうど発足したばかりであります。

研究遂行上のこれらの試みは、国際競争上技術開発が相変わらずより決定的な役割を果たしていることを思えば、将来拡大されこそすれ、縮小されることはないと思

どもは期待しております。もちろんこの傾向は材料の分野だけに限ったことではありませんが。

さてここで一呼吸おいて、私がいままでにお話ししてきた考え方の三つの柱を皆様に思い出していただきたい。

第一の柱は、通常一個人から生まれ、また 20 年あるいは 30 年の間に陽の目を見るにしても、それによつて理解と予測の両方が可能になるような、定量的処理が容易な、比較的単純で基礎的なアイデアの重要性であります。しかしこのような概念の適用は容易でない場合があります。

第二の柱は才能と興味と目的を異にする研究者達が、十分な資金と一流の研究施設のもとで、ある問題の解決に協力しあえる適切かつ柔軟な組織の必要性であります。

つぎに、第三の柱は必ずしも管理面においては限りませんが、少数の人達のもつ並はずれた洞察力と広い視野の必要性であります。この洞察力と視野は、新製品、新製法または将来性（多分工業独占権）につながる一方、世界的基盤に立つて利用可能な科学的理解を絶えず増進し続けるような重要な開発を創り出すことのできる活動範囲を、いくつかの materials science の分野の中に引き起こすものでなくてはなりません。

5. 材料の将来展望

さてここで話を変えて、この講演の最もむずかしい部分、すなわち将来の見通しに移りたいと思います。あらゆる産業と同様に、鉄鋼業は競合材料からの圧力下にあります。一体アルミやプラスチックは食飲料缶としてぶりきや TFS (tin-free-steel) に比べていかなる長所と経済性があるのでしょうか。この間はプラスチック複合材料対深絞り鋼板、繊維強化コンクリート対鋼製ばり、非晶質鉄-ボロン合金対軟磁性材料にも発し得るのであります。

今日では、これらの代替材料は類似材料を含めてすべて利用可能であり、世界のいずれかの鉄鋼製品市場に侵入してきております。私どもは競争力を当面維持できるほどに鉄鋼製品の真の価値を改良しつづけ得るでしょうか。私どもはこの挑戦に応じるために若い鉄鋼マン達をどのように訓練し、あるいは一人前の鉄鋼生産者をどのように再訓練しようとしているのでしょうか。私は正直のところ分かりません。多分皆様の中にもお分かりの方は幾人もはおられないでしょう。とは申しませんが、私どもはこの潜在的問題を避けて通ることはできませんので、挑戦に応じる外はないのであります。現有能力のうちの無理のない部分で利潤をあげるために、鉄鋼一次製品事業をさらに研さんし改善し続ける一方、チタン合金、複合材料、高性能セラミックスなどの他の構造用製品へのある程度の多角化を計ることで十分でしょうか。

あるいは私どもは重点をさらに大きく切り替えることを考えた方がよいのでしょうか。

私自身の答は、ともかくも、貴国または米国の主要な総合鉄鋼会社が、情報通信とかコンピューター用の材料の供給において、ごく短期間に手ごわい競争者となり得ると思われぬということですが、不可能とは言えないまでも、この分野で地盤を固めている会社がすでに優位を保っており、これに追いつくことは少なくとも至難の業でしょう。むしろ、目標を求めるときは、製造、プロセス制御、検査技法における私どもの底力に目を向けるべきではないのでしょうか。私はさきに基本概念の提示から実際の工業化までには、長い年月を要することを力説しましたが、これは主として信頼性がありかつ経済的な方法で新しい原理に依存する製品を製造する時のよく実証されている困難性によるものであります。私見ではありますが、技術としてのプロセッシングは本来、定量的研究を是非とも必要としますし、将来律速条件となる可能性が多分にあります。幾多の発明開発を特色づけてきたエジソン流のアプローチは、数個ないし数千個という少量の新材料製品をつくる時には、次第に効果的でなくなるように思われます。私どもは鉄鋼やその他の金属業において十分学びとつた大量生産的やり方にはもはや留まるわけにはいかないでしょう。夢物語と言われるかもしれませんが、私どもは COTTRELL や ZENER や FLORY のやつたと同じようなやり方をプロセッシングの中に見出せないのでしょうか。私どもは、とりわけ自動制御下、多分自動修正制御下でのプロセッシングに関する私どもの知識を、材料の組織と性質の関係についての私どもの知識に比べて、知的理解度の点でなおいそひけをとらないものに育成するために、一体何をすることができるとでしょうか。ニーズは現にありましても、コスト高を招くでしょうし資源には限りがあります。

他の分野ですでに私どもが行ってきたとおり、おそらくこの問題でも共同研究の途を求めるときでしょう。私ども二国間の国家的計画は、いろいろの時にいろいろの方向に吹く政治の風のため、満足と言うにはほど遠い歴史をもっています。私はこの傾向は基本的にはすぐには変わらないと見ています。私自身の提案は、ごく小規模の協力の方がより有効であろうということです。この協力では私どもは何をしようとも、何を成果として期待するかを当初からはつきりさせておくことが緊要です。財政的投資でひけをとらないことも大切ですが、私には人と彼らが提起しあるいは生み出す可能性のあるアイデアとの間の調和の方がはるかに大切に思われます。私ども相互の尊敬の念はすでに存在していると信じます。この上に私ども自身が独占できる商業ベースにのつた開発が栄える基礎を築き上げねばなりません。利潤のない世界は現実性のある進歩がないからです。

私はここで私自身まだ十分答え切れない多くの質問を

問いかけたことについて相すまないと思っております。私は皆様の多くがすでにこれらの事柄について深く思考しておられることも承知しています。もし皆様がお答をお持ちなら、今や多くの期待を担っているこの材料という夢の多い分野をどのようにして進歩させていくかについて、是非お互いに考えを交換したいと存じます。

貴国の言葉でないこの講演を御静聴下さいましてどうもありがとうございます。皆様の脳裏に少なくとも二、三の考えを残し得たならば、私の幸甚とするところであります。

文 献

- 1) J. R. Low and M. GENSAMER: *Trans. Metall. Soc. AIME*, 158 (1944), p. 207
- 2) A. H. COTTRELL and B. A. BILBY: *Proc. Phys. Soc.*, 62A (1949), p. 49
- 3) M. CANTONE: *Nuovo Cimento*, 1 (1895), p. 165, p. 205; 4 (1896), p. 270, p. 350
- 4) E. WOODRUFF: *Phys. Rev.*, 16 (1903), p. 321
- 5) F. ROBIN: *I. S. I. Carn. Schol. Mem.*, 3 (1911), p. 125
- 6) J. SNOEK: *Physica*, 8 (1941), p. 711; 9(1942), p. 862
- 7) C. ZENER: *Elasticity and Anelasticity of Metals* (1948) [University of Chicago Press]
- 8) K. KRAUT: *Ann.*, 150 (1869), p. 1
- 9) H. STAUDINGER: *Ber.*, 53 (1920), p. 1073
- 10) P. J. FLORY: *Principles of Polymer Chemistry* (1953) [Cornell University Press]
- 11) E. O. HALL: *Proc. Phys. Soc.*, 64B (1951), p. 747
- 12) N. J. PETCH: *JISI*, 174 (1953), p. 25
- 13) P. DUWEZ, R. H. WILLENS and W. KLEMENT, Jr.: *J. Appl. Phys.*, 31 (1960), p. 1136; P. DUWEZ and R. J. WILLENS: *Trans. Metall. Soc. AIME*, 227 (1963), p. 362
- 14) X. L. YEH, K. SAMWER and W. L. JOHNSON: *Appl. Phys. Lett.*, 42 (1983), p. 242
- 15) A. D. SMIGELSKAS and E. O. KIRKENDALL: *Trans. Metall. Soc. AIME*, 171 (1947), p. 130
- 16) R. B. SCHWARZ and W. L. JOHNSON: *Phys. Rev. Lett.*, 51 (1983), p. 415
- 17) C. C. KOCH, O. B. CAVIN, C. G. MCKAMEY and J. O. SCARBROUGH: *Appl. Phys. Lett.*, 43 (1983), p. 1017
- 18) B. M. CLEMENS, W. L. JOHNSON and R. B. SCHWARTZ: *J. Non-cryst. Sol.*, 61 (1983), p. 817
- 19) J. D. VERHOEVEN, E. D. GIBSON and W. L. JOHNSON: *Private Communication* (1985)
- 20) E. MÜLLER: *Z. Phys.*, 131 (1951), p. 136