

無機材研ニュース

臨時号

昭和44年12月

米国における無機材質研究の現状について

無機材質研究所長

工学博士 山内 俊吉

去る4月8日より、約1カ月間にわたり、アメリカ合衆国における無機材質およびこれに関連する分野の研究体制等の現状調査を行なってきたので、その概要を紹介する。

I. 見学先

University of Calif., Lawrence Radiation Laboratory, Pennsylvania State University, Material Research Laboratory, National Science Foundation, Geological Survey, Naval Research Laboratory, National Bureau of Standards, Massachusetts Institute of Technology, Harvard University, New York University, Research & Development Center of G. E.

II. 見学の報告

(I) ペンシルバニア州立大学における米国内材料会議 (National Colloquy on the field of Materials) に出席

4月14日(月)から16日(水)までステートカレッジのペンシルバニア州立大学、コンファレンスホールでアメリカ国内の材料科学や材料工学に関する研究に従事している官・民・大学各層の著名な研究者100余名が集まり、主として研究の管理運営、研究推進等に関する問題を討議するため、アメリカでは初めての試みの会がもたれた。私もこの会の主役であるペンシルバニア州立大学材料研究所長 Dr. R. Roy 教授や米国科学財団(N.S.F.)の Dr. I. Warshow などのすすめにより、客員として出席を許された。

この会議が計画された目的はいろいろあるが、主として次のような理由からであるように思われる。

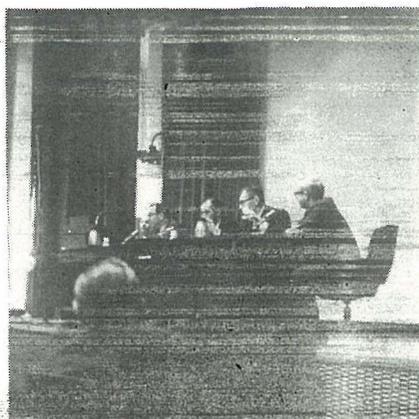


Fig.1 会議中のあるパネル討議

比較的短期間における材料の科学や技術の急速な進歩は、研究、教育の上でアメリカとしては早急に考えねばならぬ重要な一つの大きな課題となってきたようである。そして、その発達の影響はいろいろの面に大きく現われ、従来の専門化や狭い学科単位では駄目だという考えが強くなってきて、次第に多くの大学その他で Multi-disciplinary, Interdisciplinary, Mission-Oriented Laboratory などが考えられた。

しかし、今までこのような問題を論議する機会をもたなかったので、この分野に属する科学者、技術者が集まって過去を省み、現在を検討し、さらに将来について企画するための懇談の場としてこの会議が開催されたものようである。

この会議は、Material Science, Material Engineering, Material Technology の問題などについて3日間にわたって論議された。内容はここに詳しく述べ得ないが大項は次のようであった。

過去10年間における材料の科学、工学の発達はどうか、これらに関する大学の研究と教育はどうかであったか、連邦政府のこれに対する役割や研究に対する Interdisciplinary Approach はうまくいっているか、また材料生産工業から、材料使用産業から、あるいは政府の立場から、大学の果たす役割はどうかであるべきかを述べたり、また、アメリカにおける材料の研究現状はどうか、その分野内の相互協同や、他分野との相互協同、官・民・学の協同等はどうかになっているか、などについて論議した。Fig. 1 は、会議の一部である。

さらに材料に関する科学、工学の将来の傾向、次の10年の進歩、現在の国の目標と材料の将来、さらに大学の材料に関する教育研究と、この会議との関連はどうかあるべきか、大学のカリキュラム計画に対して将来このような会はどういう関係をもつか、などについて極めて熱心に討議された。この会議を通じて Dr. Roy, Dr. J. A. Pask (カリフォルニア大学教授), Dr. I. Warshaw の諸博士が私に寄せられたご好意には心からの感謝を捧げたい。Fig. 2 は、MRL 見学の際の写真である。



Fig. 2 材料会議で MRL を見学した際 (左から Dr. J. B. Wachtman (N. B. S.), 筆者, Dr. R. Roy, Mr. R. A. Huggins)

このように官・民・学を通じて現在および将来の材料研究の進歩を協同の力で推し進めてゆこうとする体制作りのために指導的な立場の人々が3日間も熱心に論じ合う会に3日間全部出席した私としては、今後の交流のため多くの知友を得た上にいろいろの意味で得るところが極めて大きかった。

(2) 大学関係材料研究所の見学

材料の科学および工学に関する研究を行なっている著名大学、カリフォルニア大学、ペンシルバニア州立大学、マサチューセッツ工業大学その他を訪問した。

大学の研究所は、大学院学生の研究訓練に重点がおかれ、その他サンマー・コース、ゼミナー、外国研究者のサービス等外部の教育にも意を用いているようである。各教授の下に助教、博士課程修了者、大学院学生がその所属員である。

(イ) カリフォルニア大学では4年ぶりに学部の Dr. J. A. Pask 教授(窯業)の立派な研究室を見せていただき得るところ大であったが、さらに同大学附属の Lawrence Radiation Laboratory を見た。この研究所は、4年程前開所され Prof. Lawrence の名を冠した研究所であり、特に放射線関係の研究所ではなく、物理、放射線化学、無機材料などの研究部門に分れ、無機材料部門(部長 prof. Dr. Leo Brewer, 副部長 prof. Dr. V. F. Jackay)では、研究グループとして無機化学、放射線工学、窯業、冶金、固体化学等のグループに分かれ、兼任の Dr. Pask, Dr. Muller 等の案内で全館を大急ぎで見学することができた。Fig. 3 は、無機関係の教授達である。

その研究は、如上のように広汎にわたっているし、また時間がなかったので十分把握することはできなかったが、非金属無機材料関係の研究の一部をひろってみると、無機物の高温反応、ガラスやセラミックスと金属間の作用、MgO-CaO, CaO-NiO や MgO-NiO のような単結晶間の拡散、MgO の焼結に及ぼす LiF の影響、MgO·2MgO-SiO₂ 系の研究、Al₂O₃ と熔融 SiO₂ との反応、多結晶 MgO の加熱変形に対する微構造の影響、LiF や MgO の多結晶体や単結晶のクリープ、ガラス内の拡散と相互作用、ガラスの性質、プラズマゼットによる焼結粉粒の製造、PbO-ZrO₂-TiO₂ 系の研究、サファイヤと高温ガスとの反応、熔融珪酸や強磁性セラミックス、セラミックス中のガスの透過、Al₂O₃ の Al による濡れ、示差熱量計の研究その他が活発に研究されている。

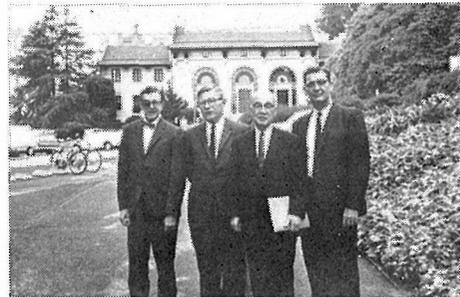


Fig. 3 研究所の教授たちと(向って左から Dr. Brewer, Dr. Pask, 筆者, Dr. Fulrath)

この研究所は、カリフォルニア大学理工学部関係の学部の兼任教授が多いが、教授33名、博士32名、大学院学生190名(内窯業24名、金属60名)、サービス部門50名程度の人員である。本年の研究所全体に対する研究費は約30 M. D. (ミリオンダラー)であるが、その一部門である無機材料研究部門は約3 M. D. であり、その中の窯業金属関係グループの研究費は約1.75 M. D. 程度のようなのである。

これらの研究予算は十分によく分らぬが私の聞いたと

ころでは、この研究所では大体 AEC(Atomic Energy Commission), NSF(National Science Foundation)等の研究援助費によるものようで、これら外部からもらった研究費の40%位は光熱水料、管理その他として大学本部に引き去られ、10%程度は Lawrence Radiation Laboratory (ローレンス・ラジエーション研究所)の管理部に、25%位が消耗品、工員賃金、秘書の給料等に、そしてその残り20~25%程度が実際の研究費として使われるようであり、この実際研究費が教授以下の研究員全部の給料やそれらの人々が直接使う研究費となるというように聞いた。仮りに、一教授の研究費年10万ドルとすると、教授一人の給料2~3万ドル、博士一人1万2千ドル、大学院学生一人5千ドル、支払った残りが実際の実験研究費となるなどと勝手に考えてみると、研究員が多い程研究者が直接使う研究費は、減るわけである。

そこで研究所の予算というのは、各部門がAECその他から貰った研究費の総積上げであり、これを如上のように本部、管理部、サービス部門、研究部門などに適当に配分するわけで、このように国立でもAEC、財団、民間など外部からの援助で研究室をまかなってゆくやり方は、日本のそれと根本的な相違があり、これが研究者の活動に大きな影響をもつことも考えられる。

(四) 次に、ペンシルバニア州立大学に材料研究所(MRL: Material Research Laboratory)が1962年にできた。Dr. R. Royはその所長である。これは、全大学学部の研究協同の場としてできたもので、専任教授のほか各学部の材料関係の教授が参加している。そのうち17名が専任で、10名が学部からの兼任である。博士10名、大学院学生100余名、サービス部門20~30名程度の研究所である。今までバラックであったが、今度工費240万ドル、7万平方呎の2階建タイル張りの本建築ができた。私はその移転が殆んど完了しかけた時にここを訪ねた。Dr. Dachil, Dr. Henish, Dr. Cross など旧知の教授達と会えてうれしかった。



Fig.4 MRL 玄関の研究成果展示棚

この研究所は、金属や有機も取扱っているが、材料中特に非金属無機材料に重点があり、われわれの専門分野では最もすぐれた研究所の一つである。その予算の出所

や配分は、前記ローレンス・ラジエーション研究所と同様である。そして、具体的には本年は全体140万ドルのうち110万ドル位が研究者全員の給料であり、実際の研究費と研究設備費などその他が30万ドル程度であるという。

ここで行なわれている研究は、現在移転のため中止されていたので、設備を見ただけで研究状況は見られなかったが、パンフレットなどによるといろいろのものが研究されているようである。一例をあげると $Mg(OH)_2$ の脱水機構、 $CaO-Yb_2O_3$ 系の研究、高圧下における $CdS-MnS$, $Mn-O$, $Pb-O$, $Cr-O$, $Sb-O$, $Eu-O$, $Te-O$, $Re-O$ 等の酸素変化を含む相平衡、 $\beta-Ga_2O_3$ の単結晶の熔媒成長と特性、 $Ti-Ni-Sb-O$ 系の混合ルチル結晶の合成、 Fe_2TeO_6 の結晶構造、 Bi_3TeO_2 単結晶の光学性、ガラス、薄膜、高圧高温による研究、その他各種の方法による結晶成長などいろいろの研究が極めて活発に行なわれているようである。なお、ここでは学部の一部を見学し、西川治博士の案内でイオン顕微鏡のDr. Mullerの研究室を見せてもらった。また、窯業関係の旧知のDr. Brindley(Fig. 5)やDr. Rindoneなど諸教授に会えてうれしかった。副学長Dr. Osbornは海外出張で会えなかったのは残念であった。



Fig.5 Dr. G. W. Brindleyと(大学空港にて)

(五) 次に、これまた材料関係として有名なMIT(マサチューセッツ工業大学)を見た。ここにはCenter of Metallurgy and Material Scienceと称する材料研究のCenterがある。ここではDr. W.D. Kingely, Dr. King両教授その他のご厄介になった。(Fig. 6)

これは、ペンステートのMRLと同じようなものであるが、その発生が複雑である。MITは、もともと材料に重点をおいた大学である。いつとはなしに自然発生的に各学科の材料関係の人々が協同的に仕事をしているうちにでき上ったような研究所であり、大学院学生研究の場でもあることは前二者と同様である。比較的新しく拡張工事をしていろいろの分野の協同研究の場として建物ができたものである。その建物は、9万6千平方呎もあり、現在280名程度の研究員がいる。教授専任22名、助

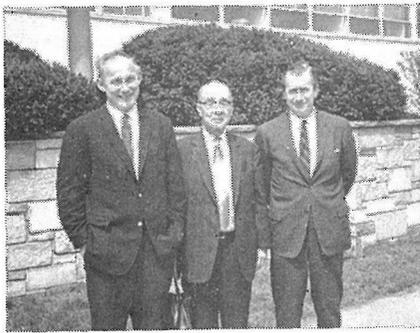


Fig.6 左から Dr. Kingcley, 筆者, Dr. King (MITにて)

教授23名, 大学院学生 170名, サービス部門55名程度であり, 予算は, 前記研究所と同様の仕組みであるが, 本年は総計 200 万ドル位であり, うち研究設備は35万ドル程度であるという。

この中で無機材料(非金属)特に窯業関係を調べてみると, 教授, 助教授 5名, 博士 1名, 大学院学生25名, サービス部門 7名程度であり, その予算は40万ドル, その半分が給料, 研究設備約 4万ドル, サービス部門その他の共通費 6万ドル, 各教授に配分する研究費が10万ドル位, その他物理, 金属, 電子工学, 化学工学, 機械工学関係のセラミックス材料研究費も合計50万ドル位があるので, 全体としては90万ドル位が窯業関係に使われる金であるという。これらの費用も大体 AEC, NSF, 民間会社等のものが多い。

自然発生的に成長した研究所であるので組織はよく分らないが, 各学科間の協同の場として Material Center ができ上ってしまったもので, 勿論材料科学中心の研究所以である。科学者個人が優秀であればそれに研究費の支援があり, 大学は部屋だけ貸しているような格好であるという。従って, 立派な科学者が退任したり, その他でいなくなっても後任者をうめる必要はない。個人が立派な学者であることだけが問題であるという。そして教育の費用は大学から, 研究の費用は集まった研究費から出



Fig.7 Dr. J. P. Nielsen と (ニューヨーク大学にて)

すものようである。総長は学部長を任命し, 学部長は学科主任を決めるが, 学科の職員は学科主任が決める。課題の選択は研究費次第であり, 教授の判断で A E C 等に申請し, その後のことは教授が判断して課題を決めるようである。

私の見た研究の主なもの, 多結晶 Al_2O_3 における粒界拡散の問題, 純アルミナにおける不純物の混溶, 不定比化合物の $MgO-Al_2O_3$ スピネル焼結問題, 高圧における SiO_2, B_2O_3 等の結晶化と熔解機構の研究, $LiG, Bi_2S_3, PbCuBiS_3, AsSbS_3$ 等の合成, ガラスの組織と性質, MgO と Al_2O_3 の固溶関係, SiC や無定形 Si 薄膜の研究, FeO の単結晶の合成, $LiYF_4$ 単結晶の成長(溶融引上げ)等いろいろの研究であり, これらの研究が熱心に行なわれているのを見た。

(二) なお, ボストンでは, 伊藤順博士の引廻しで Harvard University も見学でき, 有益であった。

以上, 大学の研究機関を見て感じたことはいろいろあるが, その一, 二を述べると,

- (a) 研究の施設設備が整備され, 極めて有効に動いている。
- (b) 工作室を持っているが, 技術者が求めにくい上に技術者の給与や仕事量の問題もあり高くつくという。現在は主として学生達が設備を使っている状態のようであった。
- (c) 給与体系が日本と異なり, 研究者は外部からの研究費に依存しているので, 研究成果をあげることが極めて大事であることを暗黙のうちに強く認めている。従って, 研究に熱意をもっているが, その割に仕事はあせらず急がず落ちついて, 着々と問題を掘り下げて研究しているように思った。この点はいろいろ考えさせられた。
- (d) 指導者と大学院学生の緊密な連繋で, 学生は極め



Fig.8 Dr. I. Warshaw と(NSF の Dr. Warshaw の室で)

て熱心に研究している。

- (e) 以前は自分で装置を組立ててやる研究者が多かった。今回は個人の創意を生かした炉などを作ってやる研究者も多いが、装置セットに対する依存度が強くなったように思う。
 - (f) 指導層には各々の部位にふさわしい大きな権限と責任が与えられている。
- (3) 国立研究機関の見学

国立研究機関としてワシントンの地質調査所 (Geological Survey) (この研究所だけは、National Science Foundation の Dr. I. Warshaw :Fig. 8: の案内)、海軍研究所 (Naval Research Laboratory), NBS (National Bureau of Standards) を見たが、ここでは NBS について簡単に報告する。

NBS は、Washington D. C. から 20 数マイル離れた Maryland の Gaithersbury に移転した。一帯の原野の中に 11 階の管理棟 (Fig. 9) を前にして、約 20 の 2~3 階建の研究実験棟その他が適当な間隔をおいて 1961 年から建設され、昨年移転を完了した。玄関まで出迎えてくれた旧友のガラス部長 Dr. W. Haller (Fig. 10) の案内で見学した。

管理棟の玄関に入ると、広い受付場所にはいろいろの案内用のパンフレット等がおかれ、外来者の休み場でもある。全館の模型も飾られている。突き当りは、Musium



Fig. 9 NBS 管理棟の遠望

(古い由緒ある各国からの天秤、スプリングバランス、その他研究用の機械器具などが飾られている。)であり、その向うは図書館で 3 階まで続く立派なものである。さらに廊下を進めば中庭があり、ここにはイギリスのニュートンの親戚から寄贈されたりんごの木が植えてある。未だ小さな木であるが、「発見を」という NBS の一つのシンボルにもなるのであろう。ここに日本式の庭があり、それを隔てて波状の屋根は大きな職員食堂らしくなかなか立派である。敷地は 565 エーカー (約 60 万坪) もあり、122 万平方呎、工費 125 M. D. を要したという。管理棟とは別に食堂、講堂、講義室の整備、またこれらの附帯設備、コート置場、電話室等なかなか立派なものである。

ここは、Institute for Basic Standards, Institute for Applied Technology, Institute for Radiation

Research, Institute for Material Research の 4 Institutes があり、この最後の材料研究機関内に、無機化学部門、高温化学部門、物理部門、結晶部門、固体化学部門の 5 部門がある。

われわれの無機材質研究所はいずれの部門にも関係があるが、しいていえば無機化学部門が最も関係が深いようである。Institute for Material Research の副所長 Dr. E. Horowitz, 無機化学部門の長 Dr. J. B. Wachtman (Fig. 2), Dr. W. Haller 等から次のようないろいろのことをきかせてもらった。



Fig. 10 Dr. Haller (NBS 工作室にて)

NBS は現在、全員約 3,000 名の研究者がいるが、無機化学化学部門は、博士 38 名、学士 79 名、サービス部門 16 名、計 133 名位である。これに要する研究費は、AEC, NSF その他からの研究費に依存することは大学と変わりなく、例えば外部から研究費がくると、まず本部でその約 40% を吸いあげ、これを NBS 全体の研究費と合せて考える。この研究費から職員の給料が差し引かれる。博士は 1 万 2 千ドル、課長で 1 万 5 千ドル前後であり、実験研究費は個人 5 千ドル前後のように思った。

この無機化学部門の研究は、材料の製造と性質、材料の特性値、他部門に対する技術的援助が主な仕事である。

私の見た研究室は希土遷移金属酸化物の単結晶の引上げや金属のゾーンメルティング、弗化珪酸の結晶成長、 Al_2O_3 の気相成長 (単結晶の合成)、 AlN の合成とその特性、サファイヤーの転移、ガラスの研究などであった。立派な整備された工作室やガラス細工室をもっているが、ある所員から高くつき不経済だとの話も聞いた。

課題の選択は国防、原子力、宇宙等の国の要求、学問自身の重要度、よい研究者、技術者の育成などの観点から選び、新しい課題は上から与えられ、与えられた課題内のことは各研究者が課長の了解を得てやることになっているらしい。評価に関しては、外部から委嘱された多くの Advisory Committee があり、ここで各部課の研究とその方向、進行状態などについて話をさせ、その成果について評価し、それによって時には部課長の交替までも起こることがあるという。印刷物による発表は、1 人

年 1.4 報位の論文は発表せねばならぬようである。これらの業績が悪ければ他への移動を考えねばならぬ場合もあるらしい。このようになりに厳しく評価されているようである。

ただ一つの疑問は、都会を遠く離れていながらこの立派な研究所に職員の宿舎が作られていないことである。道路が整備され車が発達しているといってしまうとそれまでだが、不思議に思えた。聞けば作らないのがポリシーだという。

(4) 民間研究所の見学

G. E. の Research and Development Center (Schenectady), ニューヨークから Albany まで飛行機で行き、ここに出迎えに来てくれた旧友 Dr Navias (Fig. 11: G. E. 元重役, 元米国窯業協会副会長) の車で20分位で研究所に到着した。

Mahawk 川の流れて添って建てられたきれいな研究所である。13年前見た研究所は際立って立派に見えたが、今度はそれ程感じなかったのは、日本の研究所が立派になったためであろう。芝生の緑が目にしみあたりは一面の広野でなかなか景色もよい場所である。

研究本館はやはりきれいである。受付嬢にカメラを預けよとのことで、写真はとれなくなった。ここは G. E. の Research and Development Center と呼ばれ、研究棟と実験棟、工作室等がある。Dr. Navias, Dr. Anderson 等の案内で5時間近く見学した。

まず、研究棟では酸化物の電気的性質、ガラス、イオン化合物の研究、 β - Al_2O_3 、透明スピネルの合成、 $Y_2O_3 + 10\% TaO_2$ の Yttralox (分散が極めて低い)、 Al_2O_3 の Lucalox、 $Y_2O_3-ZrO_2$ 、Yttralox+ Nd_2O_3 (蛍光を放ち磁性をもつ)、Yttralox+ Pr_2O_3 、Thcharox ($ThO_2 + 2\% CaO$)、ガラスの相分について等を見、Metal & Ceramic Building に行く。棒状押し出しやラバープレス、 Al_2O_3 や他の酸化物セラミックス、色ガラスの試作、それらに用いる各種溶炉、プラズマガンによる ZrO_2 や Al_2O_3 の



Fig. 11 Dr. Navias (Albany 空港にて)

吹付け被覆、中空試料の作成、金属の処理炉等を見、帰りに工作室を見た。大きなのは町の方にあるそうだが、ここでは精密な組立が主であり、なかなか整備された製造工場を思わせる試作室である。大体研究室の研究と関連し、研究用具や試作品等を作っている。2階は真空装置の組立て、電子部品の組立てと実に細かい仕事をしている。ガラス細工室も整備され、うらやましい限りであった。ここは会社の研究所であり、国立と異なりこのような工作室が極めて有効活発に動いている。

以上で見学の報告は終るが、このようにいずれの研究機関でも、皆さんの好意によって大変気持ちよく見学を了し、帰国することができた。ここに一々お名前を出さなかったが、ご厄介になった多くの方々には心からの感謝を捧げたい。

III. 所 感

いずれの場所でも、科学技術の急速な進歩に即応するため材料の研究に関する施設設備が着々と整備され、研究が意欲的に進められていることを強く感じた。

材料の研究は広範な領域にわたるので、各部門の専門家達の協力の力によるところが大であり、しかもこれらの専門家達がグループを作って各課題を解決してゆこうとする研究態度が一般的となってきたようである。

しかし、いずれもわれわれの無機材質研究所のように一つの物質目標にしぼって、それをあらゆる学問分野の協同によって成果をあげてゆこうとするグループ制にまで徹底した研究所はないようである。

会社は別として大学や国立研究機関では、研究費は、AECとかNSFその他いろいろの委員会や財団または会社等外部からの支援に依存している。従って、研究指導者は、研究費の獲得に真剣であり、また支援に応えるための研究活動も旺盛であり、研究成果の公表は義務づけられているのである。研究成果の強い評価が公然と、あるいは暗々裡に行なわれていることもまた事実である。

次に、研究設備については、国立、州立等では設備費が少ないことだけではなく、研究の協同という点から研究費を出し合って必要なよい設備を購入するために努力しているように思えた。このように各研究室は、それぞれお互に権威を認め合って行動しているが、研究室間の壁は殆んど取りのぞかれているような気がした。

原子力関係、宇宙関係、電子工学関係などの研究費が多いせいか、それらに関係の深い材料の研究が多いように思うが、いずれも基礎的な問題に重点をおいて熱心に材料科学の発展に努力を重ねているように思った。

いろいろと所感はあるが、僅か1カ月の急ぎの旅で内容を十分つかめない点も多いので、全くの所感であるから、これ以上述べることは、ここでは控えたいと思う。ただ、旅行を続けている間にいろいろの場面で、日本の国力の急速な伸展を強く感じると同時に、今後研究面においては、わが国の研究者達が世界の第一線に立って創造への道を切り開いてゆくための一層の自覚と努力が必要であることを痛感した。