急速凝固法の創始者 Pol E. Duwez 博士の追憶

William L. Johnson* 訳 新 宮 秀 夫

金属を超急速凝固する手法によって種々の準安定結晶相やアモルファス合金を初めて実験的に作った Pol E. Duwez (デュエ) 博士は 1984 年 12 月に 77 歳の生涯を閉じた。この文章は弟子の一人である W. L. Johnson 博士が International Journal of Rapid Solidification Vol.1 No.4(1985) 331-344.(英国 AB Academic Publisher, Editor: Howard Jones, University of Sheffield) に書いたものである。出版社の許可を得て抄訳した。

1. はじめに

液体の金属を急速凝固する実験が近代的なセンスの下に計画的に始められたのは 1959 年から 1960 年にかけてカルフォルニア工科大学の Pol Edgard Duwez とその共同研究者達によるものであった。彼の最近の逝去にあたり、Pol の経歴と彼のパイオニア的な業績がいかにして成し遂げられたかについてこの雑誌(International Journal of Rapid Solidification)に書くことが出来るのは時宜になかったことだと思う。以下の文中で著者は Pol がベルギーにおいて冶金学者としてスタートした時から急速凝固法の創始と発展に至るまでの経歴を手短かにたどって見たい。Pol の科学者として功績とともに、Pol の暖かい人柄と高潔な人格とをお伝え出来ればと思う。

2. 1907 年から 1952 年

Pol Duwez は 1907 年 12 月 11 日にベルギーの Mons に生まれた。ビジネスマンである Arthur Duwez の 4 人の子供の末っ子だった。子供の頃には兄について音楽への興味を示し 6 歳になってチェロを習い始めた。兄はそのままチェロの演奏家になったが、Pol の進路は徐々に音楽から離れていき Pol によれば Mons の高校時代に

に科学への興味を抱くようになったということである。そして高校卒業の時には物理と数学とを勉強する決心をしていた。その時代にはベルギーには大学は Gheht, Liege, Brussels と Louvain の 4 つしかなかったが、これらの大学は Mons から遠く、Pol は経済的理由から Mons の School of Mines and Metallurgical Engineering へ通うことになった。そこでは特別な計らいを受けることが出来て物理のコースを取ることが許された。しかし、この学校に入ることによって Pol は金属に興味を持つことになって行ったわけである。彼は 1932 年に卒業して、同時に米国のミシガン大学の Fellowship を得ることが出来た。ところがミシガン大学のある Ann Arbor に到着した時に外国人学生として受診した胸のレントゲン検査に異常が見つかった。その異常というのは実は子供の頃の肺炎の痕跡だったのだが、これが肺結核であると判断されて即刻ベルギーへ送り返されてしまった。この不運な出来事も結局は彼にとって幸運となった。というのは彼は Brussels の大学に入学した上に 1 年間ちょっとで冶金学の Ph.D. 論文を仕上げる事が出来たためである。

学位論文を仕上げる過程で彼は金属中での弾性波、塑性波の伝播について興味を持つようになった。論文が完成した時点で彼はその頃固体中での波の伝播の理論を作ろうとしていたカリフォルニア工科大学の T. Von Karman に手紙を書き、ベルギーで 1 年間の奨学金を得て彼の研究チームに加わるべく米国に渡った。Pasadena に 1933 年に着いた彼は、後に金属中の塑性波の伝播の理論を作るに至った仕事を Von Karman と共に始めた。金属結合の理論によると金属の降伏応力は実験値の 1000 倍にもなるはずである。当時は実用材料が多結晶であることが理論とのずれの原因と考えられていたので、単結晶での研究が進められた。しかし、もちろん単結晶での実験結果も状況は何も変えるものではなかった。最初の正しい解答すなわち転位の塑性変形における役割が英国の G.I. Taylor によって示されたのは数年後のことであった。

Pasadena におけるこの最初の滞在中に Pol はフラ

* W.M. Keck Lab. of Eng., California Inst. of Tech., Pasadena, California 91125 U.S.A.

† 京都大学教授; 工学部金属加工学教室
In Memory of Pol E. Duwez: Hideo P. Shingu (Faculty of Eng., Kyoto Univ., Kyoto)
Keywords: Duwez, rapid quenching, metastable, amorphous, solidification
1986 年 8 月 20 日受理

ンス生まれのアメリカ人でロスアンジェルス小学校の先生であった Nera 夫人に出会っている。そして一緒にベルギーに 1935 年に帰国国立科学研究所に勤めるようになった(帰途 1934 年に日本に立ち寄った思い出を Duwez 博士は懐かしんでいた: 訳者)。

1937 年には Mons の School of Mines のシリケート研究所の Director に任命されて、セラミックス材の強度の研究計画を立てることとなった。しかし第 2 次世界大戦の勃発のためその仕事は中断せざるを得ないことになった。Duwez 一家は戦火を避けて再びカリフォルニア工科大学へ戻った。そこでは R.A. Millikan による面接の結果無給ながら Von Karman と仕事を再開できることとなった。Von Karman は火薬の爆発に対する船体の強さについて調べることを指示したが、この問題の基礎は急激な荷重に対する金属の変形抵抗である。そのような条件下では弾性波が金属中を伝播することは良く知られていたが、荷重がある限度を越せば塑性変形をも伴うはずである。Duwez は変形の時間依存性を測る一連の実験を行い、Von Karman と共に単純で説得力ある理論を完成することが出来た。この仕事は理論⁽¹⁾と実験⁽²⁾⁽³⁾の論文として発表されたが、そのうちの「固体中での塑性変形の伝播」は今も古典的な仕事とされている。

アメリカが直接大戦に参加するようになりカリフォルニア工科大学の Guggenheim 研究所にドイツの V2 ミサイル計画の情報が伝わって来た。その結果現在のジェット推進研究所の設立につながるロケット研究が陸軍の肝入りで始まった。Von Karman はその計画のヘッドとなり、Duwez にジェット推進ロケットエンジンの材料開発をたのんだ。V2 のロケットエンジンは液体燃料を注入して高温ガスとステンレスのエンジン壁との間に液膜を形成するというすばらしい機構によってロケットの構造材料が冷却されているらしいことが分かった。Duwez はその結果金属表面の液膜を通しての伝熱の問題を扱うことになり、その成果は数年後に多孔質材料の上を流れる流体における伝熱問題として論文⁽⁴⁾⁽⁵⁾にまとめられた。これらの論文は当然後日の急速凝固法の考案と関係するものとして興味深い。

ロケット材料の別の側面として Duwez はチタン合金、耐火(レフラクトリー)セラミックス材料と粉末冶金技術とを研究テーマとして取り上げた。この研究は戦後 Duwez が新設のジェット推進研究所の材料研究部長となってからも続けられ、1945 年から 1952 年にかけて彼の研究所は世界の耐火材料研究の中心となった。その間多くの特記すべき論文が発表された。例えば粉末冶金による合金形成への原子の拡散理論の導入⁽⁶⁾⁽⁷⁾、粉末圧縮成形における圧力分布⁽⁸⁾。またチタン 2 元合金の平衡状態図の研究もこの頃になされた⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾。また耐火材料の

酸化物、炭化物、窒化物についても Duwez のグループは草創期の仕事を行った⁽¹²⁾⁻⁽¹⁵⁾。ここに挙げたこれらの参照論文はもちろんほんの一部にしかならない。更に Duwez のグループは最初にシグマ相を発見して確認した⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ ことにも触れねばならない。Pol は G. Bergman と D. Shoemaker (カリフォルニア工科大学の化学教室所属)に Fe-Cr と Fe-Mo のシグマ相の試料を渡して結晶構造の解析を依頼したのである。

3. 急速凝固法の開発

1952 年に Duwez はカリフォルニア工科大学に Materials Science の教授として戻り大学院生達と金属間化合物相の形成についての系統的研究を続けた。この頃には W. Hume-Rothery, Mott と Jones 等の仕事やまた他の人々の研究によって 2 元合金における金属間化合物や固溶域拡大などの基礎についての電子論的な理解が深まって行ったが、それにつれて多くの 2 元合金において存在すべき金属間化合物や固溶度の欠除していることが問題となって来た。Duwez の注意を殊に引いたのは Ag-Cu 合金においてなぜ完全な全率固溶体が存在しないのかという問題だった。Duwez はこの例をとり挙げてすでに 1955 年から 1956 年頃に学生達に話し、多分 Ag と Cu とが濃度の異なる 2 つの固溶体に凝固に際して分離する現象は液膜を十分急速に冷却することによって阻止できるという考えを示した。結局、R. Willens と W. Klement という 2 人の学生が金属液滴を入れた石英管をガスボンベにつなぐという原始的だが目的になった実験方法を考え出した。試料をガスバーナで溶かしておいてガス圧によって液を銅板上に吹き付けることによって Ag-Cu 合金の均一固溶体が作られ、急速凝固による新しい科学の分野が誕生した⁽¹⁸⁾。

注目すべきことは Duwez がこの新しい出来事の意味をいかによく把握していたかという点である。1 週間のうちにより立派な装置が作られ貴金属の合金についての系統的研究が始まった。1 カ月のうちに単純共晶合金である Ag-Ge 合金における新しい準安定化合物相が発見されたが Duwez はこれが平衡状態図上で“欠除”していた“Hume-Rothery”相であることを確認した⁽¹⁹⁾。そのすぐ後に、このような“欠除”した相を作る目的で Au-Si 合金を急速凝固した結果、金属ガラスが初めて作られることとなった。Duwez は非晶質の合金が出来たことをすぐに認めることには抵抗があり慎重に進もうとした。何度かの実験の繰り返しをした後、気のはやる Klement をなだめかねて、とうとう参考論文⁽²⁰⁾のあの有名な Au-Si の X 線パターンを論文として発表することを許可した。その図は X 線フィルムの濃淡をフォトリソメーターでチャートに書き直したもののだが、

Duwez はその後の 20 年以上もいつでもその X 線回折パターンの質の悪いことを学生や友人達に言い訳し続けていた (Duwez は *Nature* 誌がきつと論文を reject すると思っていたと訳者に語った)。しかしとにかく最初の金属ガラスは作られ、その後の固体科学に大きなインパクトを与える新しい物質が出現したのである。さらに、Duwez のグループはこの時期に半導体材料である Ge と Ga-Sb の相互固溶度の拡大の実験もこの急速凝固法によって行っている⁽²¹⁾。この仕事はそれ程知られていないが、非金属材料を作る方法として急速凝固法が広い応用性を持つことを示すものであった。

急速凝固法の原理を講義中の Duwez 博士 (1962 年)。

その後の数年間、1960～1964 年の間に Duwez のグループは急速凝固法による研究を系統的に進めるために創意工夫を凝らした装置の開発を徐々に進めて行った。“ガン(銃)法”が先ず完成した。波の伝播についての知識から Duwez は液体がガスの入った管中で衝撃波によって細かく分散するであろうと予測した。アトマイズされた液滴は適当な角度で設置された銅板上に高速で吹き付けられ、その結果、 10^6 K/s を超える冷却速度が容易に再現性を持って実現できるようになった。Duwez は“ガン法”によって出来る試料の形状が良くないので、以前大学院生だった P. Pietrokowsky とともに“ピストン-アンビル法”と呼ばれる装置を作った。これにはアポロ計画に使われた宇宙船の外装を急速に外すための急速作動機構が利用された。この装置により約 10^5 K/s を超える冷却速度が達成され、試料の形成過程は高速度カメラに収められた。ピストン-アンビル法による試料は約 $40 \mu\text{m}$ の厚さで数 cm^2 の大きさの楕円形のものであり、試料の物性測定に適していたのでその後長い間ピストンのぶつかる音が研究計画のテーマ音楽となった。創り出された新しい物質は多種類にわたっているためここに全部を紹介することはとても出来ない。何十編という Ph.D. の学位論文がこの急速凝固材料に関する研究結果により作られた。1962 年頃 Duwez はある研究会で P. Debye に会い強磁性非晶質材料の可能性を話し合っ

た。Duwez は遷移金属(TM)とメタロイド(M)との組成が $\text{TM}_{80}\text{M}_{20}$ であるときに金属ガラスの出来やすい合金の幅広いグループがあることに気が付いていた。最初に研究したのは $\text{Pd}_{80}\text{Si}_{20}$ ⁽²²⁾ だったが Duwez はパラジウムを Fe で置き換えることを考え $(\text{Pd}_{1-x}\text{Fe}_x)_{80}\text{Si}_{20}$ 合金が $x < 0.3$ でアモルファスになり低温で強い強磁性を示すことを見いだしていた⁽²³⁾。これに満足しないで Duwez は Si の代わりにほかのメタロイドを使うことを考え、 $\text{Fe}_{75}\text{P}_{15}\text{C}_{10}$ の組成の合金を急速凝固によりアモルファスとすることに成功した⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。この合金はガラス状態での強い強磁性体として最初に見いだされたものであった。後日工業的に電力用のトランスに用いられる目的で開発された軟磁性のアモルファス材料はこの Fe-P-C 合金の流れを汲むものである。これと同じ時期にアモルファス半導体についての興味が研究者の間で持ち上った。これに関して Duwez はカルコゲナイド系の半導体ガラスを急速凝固法によって作ることを試みた⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾。これらの材料やその流れに沿った材料は光電子材料として重要となって来ており、光記録材料としては今日大変重要な材料である。アモルファス半導体や強磁性体の研究と平行して Duwez のグループは急速凝固によって作られる準安定結晶相の研究にも力を入れた。それらの結果、単純立方格子結晶(ユニットセルに原子 1 個)の最初の例⁽²⁸⁾、以前には知られていない多くの“CsCl”型の結晶相⁽²⁹⁾⁽³⁰⁾、非平衡な固溶相⁽³¹⁾やその他の準安定相⁽³²⁾⁽³³⁾などが見いだされた。Duwez のグループはそれらの材料の構造と物性にも目を向け、たとえば、金属ガラスの動径分布関数の最初の測定は 1970 年と 1971 年^{(34)–(36)}に行われたし、金属ガラスの結晶化の研究は電子顕微鏡を用いて 1960 年代に行われている⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。また、金属ガラスの電気抵抗値が高く、温度依存性がほとんど無いことや、また負の温度依存性を示すことが多いこと⁽³⁷⁾⁽³⁹⁾が見いだされている。金属ガラスの熱電能が温度の 1 次関数であること⁽⁴⁰⁾や 1974 年には超電導性を示す金属ガラスの発見などがなされた⁽⁴¹⁾。

以上が Duwez によって Ag-Cu の最初の急速凝固実験以後 10 年から 15 年の間になされた研究の一部の紹介である。最も大切な点は 1959 年の最初の実験によって Duwez が、全く新しい研究分野が拓かれることを予見した点にある。彼はその新しい実験結果の意味する所を確実に把握した上で新しく見いだされた道を開拓することに献身した。1959 年から 1965 年の間は Duwez のグループは実質上全くこの新分野のたった 1 つの研究グループだった。1970 年においてさえこの分野で本気で研究を始めた研究グループはほんの少数に過ぎなかった。外界の無関心にも拘わらず Duwez はこの研究の初期時代を辛棒強く切り抜けた。その後の話はこの雑誌の読者なら皆さんご存じのことと思う。今までにこの分野の国際

会議は5回開催された。関連の発表論文数も何千編に上り、この分野は現在ではマテリアルズサイエンスの確立された分野と見て良いであろう。著者らのようにPolに日常接することの出来た者にとって彼は急速凝固の研究への知的な興味と探求心とを具体化してくれた人であった。科学への貢献という面のほかに、私達は彼のユーモアのセンスとその指導の下で共に仕事をする者達への我慢強く暖かい彼の態度とを忘れることが出来ない。

〔翻訳後記〕

編集委員会のお薦めにより始めて翻訳という仕事をやる機会を与えられそれが自分の仕事に関係の深いDuwez博士の記事であったことは誠に光栄であった。さて、いざ訳に取り掛かると余りにもスラスラ訳して行けるので驚いた。何しろ原文があるので何も考える必要が無い。普段論文となるとレター1編書くのにも四苦八苦するのとは大違いだった。待てよ、自分は特に翻訳能力があるのかも知れない、退職後は翻訳業でしようかなどと学生諸君に話したところ、先生それは甘い、今はコンピューター翻訳の時代です。将来は翻訳業は不要かも知れませんということである。面白いそれならコンピューター翻訳の能力を見ようではないか、ということで試したのが、以下に掲げたこの記事のIntroductionの部分の訳である。コンピューターのinputとoutputには何の手も加えていない。Polを名前でなくPolititianの略で老練な政治家とする所など愛さうだが概して意味は解る程度に訳せるのには驚いた。やはり翻訳業に就くことは無理のようだ。

1. 導 入

液体状態からの高速クエンチングの現在の研究は、技術のカリフォルニア協会における老練な政治家Edgard Duwezおよび彼のcoworkersによって1959および1960年に実行された一連の実験へのそのbeginningsを追跡する。彼の最近の通過により、これは、彼を彼の新しい仕事に導いた老練な政治家のキャリアの歴史および事象の上で回顧するために、適当な時間および位置である。続くページにおいて、始動を通してベルギーのそのbeginningsからの冶金学者としての老練な政治家のキャリアおよび高速にクエンチされた金属の彼の研究の開坑を簡潔に追跡しようという著者試み。努力は、科学への老練な政治家の寄与について述べるために行われる。同時に、人間としての老練な政治家のキャラクタと品質のセンスが伝えられるであろうということが希望される。

*京都大学大型計算機センター

日英翻訳システムATLAS-Iによる
翻訳所要時間(CPU)約10秒

文 献

- (1) Th.Von Karman and Pol Duwez, "The Propagation of Plastic Deformation in Solids", J.Appl. Phys., 21 (1950), 987.
- (2) Pol Duwez and D.S.Clark, "An Experimental Study of the Propagation of Plastic Deformation Under Conditions of Longitudinal Impact", Trans. ASTM, 47(1947), 502.
- (3) D.S.Clark and Pol Duwez, "Discussion of the Forces Acting in Tension Impact Tests on Materials", J.Appl. Mech., 15(1948), 222.
- (4) Pol Duwez and H.L.Wheeler, "Experimental Study of Cooling by Injection of a Fluid Through a Porous Material", J.Aeronaut. Sci., 15(1948), 509.
- (5) H.L.Wheeler and Pol Duwez, "Heat Transfer Through Sweat Cooled Porous Tubes", Jet Propulsion, 25(1955), 519.
- (6) Pol Duwez and C.B.Jordan, "Application of the Theory of Diffusion to the Formation of Alloys by Powder Metallurgy", Trans. ASM, 41(1949), 194.
- (7) Pol Duwez, "Diffusion in Sintering", in Atom Movements, Amer. Soc. for Metals, Cleveland, Ohio, (1951), 192.
- (8) Pol Duwez and Leo Zwell, "Pressure Distribution in Compacting Metal Powders", Trans. AIME, 185(1949), 137.
- (9) Pol Duwez and Jack Taylor, "The Structure of Intermediate Phases in Alloys of Titanium with Iron, Nickel and Cobalt", Trans. AIME, 188(1950), 1173.
- (10) Pol Duwez and Jack Taylor, "Crystal Structure of TiAl", Trans. AIME, 194(1952), 70.
- (11) Pol Duwez, "The Martensite Transformation Temperature in Titanium Binary Alloys", Trans. ASM, 45 (1953), 934.
- (12) Pol Duwez and F.Odell, "Phase Relationships in the Binary Systems of Nitrides and Carbides of Zirconium, Columbium, Titanium and Vanadium", J.Electrochem. Soc., 97(1950), 299.
- (13) F.H.Brown and Pol Duwez, "The Zirconia-Titania System", J.Amer. Ceram. Soc., 37(1954), 129.
- (14) Pol Duwez, F.H.Brown and F.Odell, "The Zirconia-Yttria System", J.Electrochem. Soc., 98(1951), 356.
- (15) F.H.Brown and Pol Duwez, "The Systems Zirconia-Lanthana and Zirconia-Neodymia", J.Amer. Ceram. Soc., 38(1955), 95.
- (16) P.Pietrowsky and Pol Duwez, "Crystallography of the Sigma Phase", Trans. AIME, 188(1950), 1283.
- (17) Pol Duwez and S.R.Baen, "X-Ray Study of the Sigma Phase in Various Alloy Systems", in Symposium on the Sigma Phase, ASTM Special Publication, Philadelphia, (1951).
- (18) Pol Duwez, R.H.Willens and W.Klement, Jr., "Continuous Series of Metastable Solid Solutions in Silver-Copper Alloys", J.Appl. Phys., 31(1960), 1136.
- (19) Pol Duwez, R.H.Willens and W.Klement, Jr., "Metastable Electron Compounds in Ag-Ge Alloys", J.Appl. Phys., 31(1960), 1137.
- (20) W.Klement Jr., R.H.Willens and Pol Duwez, "Non-Crystalline Structure in Solidified Gold-Silicon Alloys", Nature, 187(1960), 869.
- (21) Pol Duwez, R.H.Willens and W.Klement Jr., "Metastable Solid Solutions in the Gallium Antimonide-Germanium Pseudo-Binary System", J.Appl. Phys., 31 (1960), 1500.
- (22) Pol Duwez, R.H.Willens and R.C.Crewdson, "Amorphous Phase in Palladium-Silicon Alloys", J.Appl. Phys., 36(1965), 2267.
- (23) C.C.Tsuei and Pol Duwez, "Metastable Amorphous Ferromagnetic Phase in Palladium-Base Alloys", J. Appl. Phys., 37(1966), 435.
- (24) Pol Duwez and S.C.H.Lin, "Amorphous Ferromagnetic Phase in Iron-Carbon-Phosphorus Alloys", J.Appl. Phys., 38(1967), 4096.
- (25) S.C.H.Lin and Pol Duwez, "Structure of an Amorphous FePC Alloy", Phys. Stat. Sol., 34(1969), 469.

- (26) H.L.Luo and Pol Duwez, "Metastable Amorphous Phases in Tellurium Base Alloys", *Appl. Phys. Lett.*, **2** (1963), 21.
- (27) Pol Duwez and C.C.Tsuei, "Semiconducting Amorphous Phase in Tellurium-Copper-Gold Alloys", *J. Non-Cryst. Solids*, **4**(1970), 345.
- (28) C.C.Tsuei, Huan-Chun Yen and P.Duwez, "Superconducting Metastable Simple Cubic Alloys", *Phys. Lett.*, **34A** (1971), 80.
- (29) C.C.Chao, H.L.Luo and P.Duwez, "Cs-Cl Type Compounds in Binary Alloys of Rare-Earths Metals with Gold and Silver", *J. Appl. Phys.*, **34**(1963), 1971.
- (30) H.L.Luo and Pol Duwez, "Face-Centered Cubic Cobalt-Rich Solid Solutions in Binary Alloys with Aluminum, Gallium, Silicon, Germanium and Tin", *Canad. J. Phys.*, **41**(1963), 758.
- (31) C.C.Chao, H.L.Luo and P.Duwez, "Cs-Cl Type Compounds in Binary Alloys of Rare-Earth Metals with Zinc and Copper", *J. Appl. Phys.*, **35**(1964), 257.
- (32) Pol Duwez, "Metastable Phases Obtained by Rapid Cooling from the Liquid State", in *Progress in Solid State Chemistry*, ed. Howard Reiss, Volum 3, Pergamon, New York, (1966), 377.
- (33) Pol Duwez, "Metastable Phases", in *Intermetallic Compounds*, ed. J.H.Westbrook, Wiley, New York, (1967), 340.
- (34) Ashok K.Sinha and Pol Duwez, "Radial Distribution Function of Amorphous Ni-Pt-P Alloys", *J. Phys. Chem. Solids*, **32**(1971), 267.
- (35) A.K.Sinha and Pol Duwez, "Radial Distribution Function of an Amorphous Mn-P-C alloy", *J. Appl. Phys.*, **43**(1972), 431.
- (36) J.Dixmier and Pol Duwez, "Effect of Phosphorus Concentration on the Atomic Distribution Function of Amorphous Pd-Ni-P Alloys", *J. Appl. Phys.*, **44**(1973), 1189.
- (37) Pol Duwez, "Structure and Properties of Alloys Rapidly Quenched from the Liquid State", *Trans. ASM*, **60**(1967), 605.
- (38) P.K.Rastogi and Pol Duwez, "Rate of Crystallization of an Amorphous Fe-P-C Alloy", *J. Non-Cryst. Solids*, **5**(1970), 1.
- (39) B.Y.Boucher, *J. Non-Cryst. Sol.*, **7**(1972), 277.
- (40) A.K.Sinha, *Phys. Rev. B*, **1**(1970), 4541.
- (41) W.L.Johnson, S.J.Poon and Pol Duwez, "Amorphous Superconducting Lanthanum-Gold Alloys Obtained by Liquid Quenching", *Phys. Rev. B*, **11**(1975), 150.
(Received 10th October 1985).

＜新 刊 案 内＞

Nd-Fe Permanent Magnets Their Present and Future Applications

I.V.Mitchell 編

本書は最近、高性能永久磁石として最も動向が注目されている Nd-Fe 系永久磁石に関し、1984 年 10 月にヨーロッパ共同委員会が開催したワークショップの報告書で、全篇 7 章より成る。

1 章 永久磁石入門；永久磁石の基本的事項の簡単な説明。

2 章 供給可能量と経済；希土類元素の用途や供給量、特に Nd の世界における供給可能量、Nd 金属の製造・精製法、またフェロボロンの製法や供給可能量など。

3 章 製造工程と物理冶金学；Nd-Fe-B 磁石の製造法である粉末法、急冷法、R-D 法などの概説と、凝固速度と組織の関係、熱処理と硬度の関係についての報告がある。

4 章 Nd-Fe-B 磁石と Sm-Co 磁石の比較；両者の製造工程と磁気特性を比較検討している。

5 章 結晶化学と物理的性質； $R_2Fe_{14}B$ 化合物(R は希土類元素)の結晶構造と磁気モーメント、結晶磁気異方性などの磁気的性質、水素化合物

の構造と磁気特性の報告がある。

6 章 応用；永久磁石の現在と今後の応用面について、特に種々のモータについての概説、Nd-Fe-B 磁石のサーボモーターや新用途への応用についての報告。

7 章 特許の現況；ヨーロッパにおける Nd-Fe-B 磁石に関する特許について出願日や内容などの説明。

本書はヨーロッパ各国から 53 名が執筆を担当し、ヨーロッパにおいても Nd-Fe-B 磁石への関心の高いことがうかがえる。本書の内容は、従来の学会や、希土類のワークショップなどの報告に比べ、特に際立った新しい報告はないが、R-Fe-B 磁石についての原料、製造工程、応用まで幅広く理解する入門書として、またヨーロッパにおける Nd-Fe-B 永久磁石の動向を知るには、一読の価値がある。(M.O.)

[15×23 cm 270頁 1985年 £32.00(¥£ 2.50)
Elsevier Applied Science Publishers, London]