

委託調査報告

欧米における塑性加工研究の現状 (I)

作 井 誠 太*

Tour of Inspection of Researches on Plastic Working of Metals in Europe and America.

Seita SAKUI

(本篇は、八幡製鉄渡辺記念資金による海外鉄鋼事情の委託調査であつて、作井教授が昭和35年3月より4カ月に亘る欧米視察に際し調査を委託した「欧米における塑性加工研究の現状」の報告書である。)

I. は し が き

文部省の出張命令で筆者は昭和35年3月15日羽田発、同じく7月10日帰着で約4カ月の視察旅行を米、英、伊、仏、スイス、デンマークの各国に試みた。視察の目的は一応は金属の塑性加工の研究とその大学教育が如何に行なわれているかを視察するにあつた。初めての海外の一人旅、それも語学が全然不得手とあつては自由な行動ができず、たとえば食物に不自由な環境では好きな食物だけを選んで食べるなどのぜいたくができず、結局口に入るものは何でも有難く頂戴するのに似た状態に陥り、目的の塑性加工関係のみを集中的に見ることができず、視察の機会のある所はすべて有難く拝見するということになり、視察範囲も金属の研究一般という具合にひろがつてしまつた。この点は鉄鋼の塑性加工の研究と各国鉄鋼協会の活動状況の視察を筆者に委託され



第1図 カリフォルニア工業大学の大学院学生と筆者

た日本鉄鋼協会に申わけなく思つている。

ほとんど外国語会話を解せぬ男が単身見学先に乗り込んでも、細かい数字を聞いたり技術について議論することは不可能であり、その国の話といつても短時日の滞在では真相をつかむことはできない。また毎日の移動と衣食の手配で疲れ切つて、ホテルに帰つてからその日の日

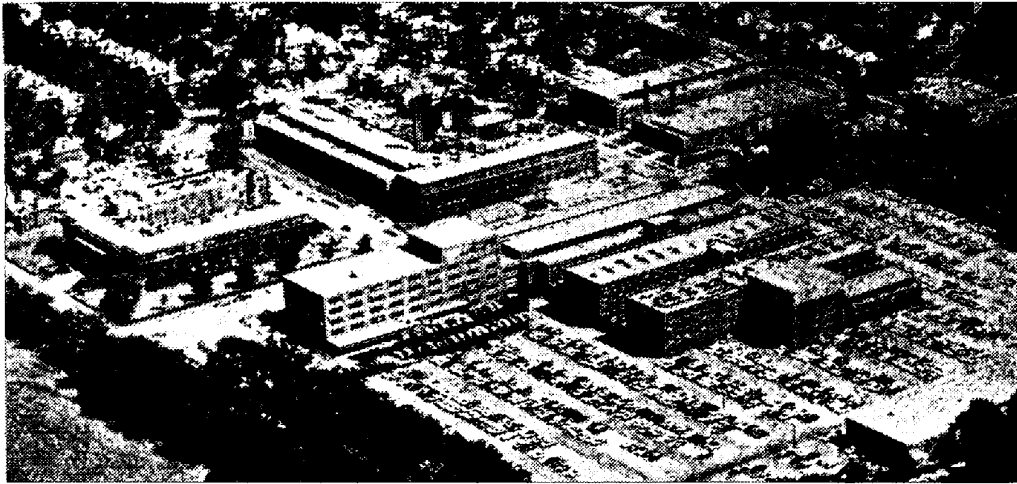
記を書くことさえ辛くしばしば怠けた。以上の状態なので以下の報告は筆者の独断というのか、主観的というのか群言が象を評するたくいであると思うが、世間知らずの大学の教師の方向違いの観察を御叱正願えれば仕合せと思つている。

それでは筆者自身にとっては今回の視察旅行は無駄であつたかといへば、筆者の生涯にこのように強烈かつ有益な経験は曾つて味わつたことはなかつた。唯一人異境をさまよつて行けば誰しもすぎこし方やこれからの生涯を思い純粋な気持になると思うが、その他に長い年月に自分の行なつて来た研究の数々また自分がそこに育ち成長して来た研究環境、あるいは日本の科学や技術に対して漠然と抱いていた感想や批判が外国のそれと比較されて急に焦点を結んで来る感じであつた。それは全身の皮膚から泌み入るような感覚的な強さで感じられた。この点は皆様の御好意で海外に出して頂いたことを心から有難く思つている。

持ち帰つたカタログの類は積みば1米を越す量になりこれを御紹介すればもう少し具体的な報告を書き得ると思うが、却つて筆者の感じた印象がうすれると思うので以下に思い出すままに筆を運ぶことを許されたい。

今回の旅行では米に47日、英には前後2回で35日、伊も前後2回で18日、仏に7日、スイス5日、デンマークに3日滞在した。旅程の最終のロンドンでの一寸した事故のため、ドイツに行けなかつたのは残念であつた。その間に見学した場所は工場14、研究所23、大学13、学会7で、世界会議に2、また英国鉄鋼協会の年次

* 東京工業大学教授 工博

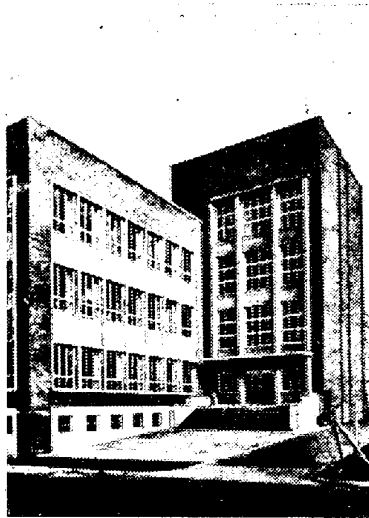


第2図 Battelle Memorial Institute.
(米, オハイオ州, コロムバス市)

大会および同協会のイタリー特別大会に出席した。その他に米では Battelle Memorial Institute を始め4カ所で、英で BISRA の Sheffield 研究所で簡単に自分の実験の講演を行なつた。この程度の旅程でも体力の弱い筆者には精一杯であつた。

目的の塑性加工の研究に関する報告に入る前に筆者が欧米の金属研究の全般の傾向に就いて得た印象を述べることを許されたい。塑性加工の研究もまたこの傾向から逃れることはできないと思われる。

以下の筆者の印象記は日本の現状が外国のそれのようでないのだけはしからんとか今ただちにそのようにならねばならぬとの気持は全然ないのである。日本の技術に創造性が欠けているといつても、それは残念ではあるが、その由つて来る所は深く止むを得ないと思つている。たとえば筆者の生活にしても正に低級かつ不合理だらけであり、それを改める方法も知らぬわけではないが、今の経済状態では手も足も出ないのに似ている。可能な所から漸進して行くより仕方がないと思つている。この漸進の方向と速度に対して本報告が若干の参考となれば仕合せである。



第3図 BISRA の Sheffield
における研究所

II. 金属研究の全般的な印象

(1) はしがき

始めて海外を見て強い印象を受けたのは、われわれ日本人の生活程度の低さであつた。精神文化のことは知らないが、日常の生活、殊に住居や食事の何という貧しさであろう。道路や公共施設の貧弱さもお話にならない。労働時間も欧米の何処よりも長い。国民所得を例にとつて見ても米の1/10、英、西独の1/4~5、伊の1/1.7の由である。

4カ月の旅行中に科学や技術の欧米と日本の差の原因を考えると、貧乏ということを考えて一番解りやすかつたように思う。池田内閣が10年後に生活水準を欧米並みにすると言明しているのは日本の現状の正直な告白のように聞えた。

オリンピックの始まる前の競技場を訪れたのであるが子供の競技なら目的の競技、たとえば三段跳びの猛練習をすれば優勝できるかも知れないが、世界最高のギリギリの記録を争うにはその人間の生活のすべてが影響するのであろうとの感を禁じ得なかつた。毎日の食事、住居、勤労のすべてが、またその国民の道徳のレベル、社会保障の有無などあらゆる面が総合的に影響するので、競技だけ練習してもほとんど無意味だろうとの感を深くした。日本人の不安な日々、社会道徳の低下と混乱、低い衣食住の水準、こんな中から学問はいざ知らず競技だけが強くなるのは不可能でないのか。

日本人の科学技術の研究が従らに要領良く、海外の研究をたくみに模放したり、換骨脱胎の才に富み、物事を根本からかついつまでもしつこく追求する才能に欠けているといつても、日本の経済状態からすればそれは当り前であろう。基礎研究などやつていたら会社がつぶれてしまうだろう。個々の研究者にしても録な社会保障さえなく、日々の衣食住にも不安がつきまとう中で他人におくれずに生きて行くには要領良くならざるを得ないであろう。然しこれではいけないと経済生活の向上に、工業立国に、科学の進歩に、必死の努力をしているのが日本の姿である。また日本民族の勤勉と優秀さは良くこの難局を克服して、形勢はすべて上向きである。このさい大切なことは徹底的に欧米の科学技術の状態と進行方向を研究して、そこに到達するのに余計な廻り道を避けねばならないことである。また経済的に向上したにかかわら

ず基礎研究に金を使わないという状態は警戒しなくてはならない。成金のごとき行状は警戒を要する。国家の予算にしてもこの方面への努力が足りないように思われる。又どうせ少ない予算を各方面で奪い合うのであるから、われわれ研究者も大いに争奪戦にふんとうしなければならぬ。今回海外を廻つて各方面から吹き込まれた思想は民主主義とは request することで request しないのは罪悪だということである。今までは研究者が余りおとなし過ぎたのではないか。

もう一つ感じたことは日本の物凄い人口であるが、この人口を以つて日本が世界に生き残るには工業に依る以外途がないということであつた。イギリスの工業人口は勤労人口の 45%、農水産人口は 5% であるが、日本の工業人口は勤労人口の 25.5%、農水産人口は実に 36% であることをイギリスで聞き*、日本の農水産人口もイギリスの程度の近くまでに減少させること以外に素人の自分には名案が考えられなかつた。幸いに池田首相の賛成を得たようであるから、一日も早くこの線に到達したいものである。

(2) 営利会社の研究所における基礎研究の盛大

わが国においても近来基礎研究の重要性が大いに叫ばれ、現在のわが国諸工業の盛大さもこれを技術的に見れば買つて来た切花の見事さに過ぎないとの声を理解するには、筆者も人後に落ちないつもりであつた。然し欧米でこれ程徹底的に基礎研究を重視し莫大な資金を投じているとは夢にも考えおよばない所であつた。大学ではもちろんのことであるが営利会社の研究所でも全然金儲けと関係のない基礎研究を悠々に行なつているのは理解に苦しむ所であつた。

ここでいう基礎研究とは全然応用を目的としない科学のための科学研究である。基礎研究ではなくていわゆる応用研究を行なう場合でも、英米のやり方は根本的というか徹底的というか、物事の始から系統的に推し進めて行くようで、あるいはこれはアングロサクソン人種の特性でないかとさえ思わしめた。後述のごとく圧延用の再熱炉の研究にしても、火焰と耐火煉瓦、火焰と鋼片間のガスの静止層の厚さから研究して行くという風で、このように応用を目的とするが基礎的に行なう研究を仮に根本研究**と名付け基礎研究と区別しよう。極く大まかにいつて根本研究は英国が盛んで、基礎研究は米に活発のように見受けられた。以下に会社の研究所における基礎研究の例を挙げよう。

[例1] General Motors Corporation, Research Laboratories.

Detroit 市の郊外にあるこの有名な米国の自動車会社で最初に案内されたのは鉄のひげ結晶を扱つている実験室であつた。第一塩化鉄を水素で還元して得られる長さ 1cm 直径数百ミクロンのひげ結晶(これは単結晶である)に就いて酸化還元の実験を行ない、その表面の規則的な美しい模様を電子顕微鏡で観察していた。また同じひげ結晶で磁気ドメインの規則的な模様を調べていた。

高温における純鉄の変態とか銅の再結晶の電子顕微鏡に依る観察は有名で、約 300 倍の倍率で撮影した映画はわが国でも見た人がある。筆者も顕微鏡の蛍光板上で直接に観察させて貰つたが、見事な組織が順次変態して行く有様に恍惚とした。銅の再結晶のさいに双晶が発達して行く有様が、平素学生に教えている様式と異なつているのには苦笑したしだいである。

X線関係の実験としては炭素鋼を焼入れたときの残留オーステナイト、残留応力の測定をX線に依つて行なつていた。いずれも水晶の結晶で単色化したX線を用いていたが、前者では γ 、マルテンサイト、 Fe_3C の線がよく分離しているのが目についた。後者では回折線の中方向の濃度分布が対称性を欠く場合の取扱いについて研究し前記の測定の他に滲炭後焼入れた鋼の残留応力の分布を測定していた。この研究所を見学する人々は玄関先の陳列場に一連の医療器械が並んでいるのを見て驚かれるであろう。人工肺、人工心臓、軽るく指先をふれるだけでブラウン管に心電図の描ける装置、光電管に依る血液の赤さの測定装置、遠心力で液体を一分子の厚さの膜にひろげ紫外線が瞬間に消毒する装置などが並んでいる。何故自動車会社でこの種の研究を行なうのかと問えば前の研究所長がこの方面の研究が好きであつたからとの事であつた。然しこれらの研究で得られた知識が自動車の自動操縦装置の研究に非常に役立つたとの事であつた。

余談になるがこの研究所の材料試験とか塑性加工方面の研究は貧弱で最近漸く疲労試験に着手したとのことであつた。

[例2] Ford Motor Company の Scientific Laboratory.

この研究所の磁気の研究は有名で世界でも著名な学者達が在る由である。岩塩の表面に金の単結晶の薄膜を蒸発法で作る、薄膜の方位と磁氣的性質との関係を調べたり、Fe-Al合金の導磁率が温度とともに変化して行く有様をFeAl, Fe_3Al の規則格子、不規則格子の生成と関連せしめて調べている。また磁気スピン共鳴の実験に

* 農水産人口の勤労人口に対する比率
米 8%, 西独 16%, 伊 29%, 英 5%, 仏 25%.

** Background Research なる語はこれに近いものを指すのであろう。

用いるために広い区域に亘つて磁場の強さが一定になる大きな磁石を製作し試験中であつた。これら一連の磁気の研究が自動車とどのような関係を持つのであろうか。

電子衝撃に依り真空中に浮いている金属棒を帯融精製したり、また単結晶化したりしていた。また真空あるいは 10 気圧の高圧ガス中で溶解および造塊を行なつて 50 kg 前後の鋼塊を作り金属とガスの関係を調べていた。中国人の Liu 博士は銅およびその固溶体の薄板の聚合組織を専門に調べている人で今も報告ができるごとに航空便で筆者に送つてくれている。その室には筆者がかねて欲しいと思つている。G. E. 社製の X 線走査装置が 3 台もあつて迅速に聚合組織が決定できて羨ましかつた。応用的な研究として面白いのは超強力鋼の研究で、T. T. T. 曲線で過冷オーステナイトが安定な 850°~1050° F の温度範囲で圧延に依る強加工後に焼入れ焼戻した鋼 (ausforming の操作を施した鋼の研究) であつて 330 kg/mm² の強度が得られている。鋼の組成は 3Cr, 1.5 Ni, 0.75 Mn, 0.5 Mo, 1.5 Si, 0.63 C である。

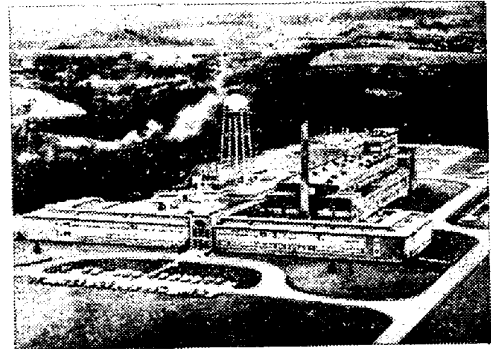
この他装置として Norelco のカウンター付の X 線装置 3 台、ヘリウム液化装置、赤外線分析計、質量分析計、カントメーター、Beckmann の leak detector などを見学することができた。これらの研究はいずれも直接には自動車工業と関連がないように見受けられた。

【例 3】 Union Carbide Corporation の Parma Research Laboratory. その他.

以上のごとく個々の会社の研究所の例を挙げて行けば筆者の狭い見学範囲でも煩に堪えないが、もう一例だけを許されたい。

この会社は有名な National Carbon Co. を始め合成樹脂、冷凍機械、電気冶金、化学薬品の 5 社の合同せるものである。最近 Cleveland 市の郊外の Parma に新しい中央研究所を作つたばかりである。研究室には窓というものがなく、全部人工光線と人工調節の空気に依存し、配線配管の類は地下室に集中收容されている。ここでも基礎研究が盛んで、天然黒鉛の小片の 1°K 以下の温度における磁気抵抗の測定、3000°C における人工黒鉛のクリープ (温度は C-B 熱電対で測定) の測定、n 型 Ge を彎曲するさいの転位の固定の研究、化合物 BN の研究 (この化合物は熱間プレスで成型可能で機械切削も容易で 2000°C の高温まで良好なる絶縁体の由) などがある。CeS の性質の研究も行なわれているが、これは将来高溶解金属を鑄造のさいの鑄型に使用可能であろうとのことである。また 1000°C, 2000°C, 3000°C などの高温における各種耐火物の状態図の決定なども行なわ

れていた。少しく応用的な研究としては炭素アークの像を随円鏡または抛物鏡で結ばせて最高 4000°K までの温度を得て、(arc image furnace) これを利用してロケット用耐火物の急熱急冷の実験を行なつていた。このロケットの尖頭部は熱伝導のいちじるしい方向性を持つた黒鉛板を張り付けて過熱を避け、かつその表面にさらに炭化物の被覆をつけて酸化を防いでいる。また emission microscope の 5 Å の分解能のものがあつて、各種の分子の構造を直接に見せてくれた。



第 4 図 U.S.S. 会社の中央研究所 (米 Pittsburgh 市郊外)

米の U.S.S. Co. の Monroville の中央研究所は約 1,000 人の所員を有し、その中 500 人が大学卒で、学士 5~6 に対し修士 3, 博士 1 の割合の構成を有するが 50~100 人 (必要に応じて伸縮する) が基礎研究部門にある。筆者は時間が少なくてこの部は駆け足でとおり過ぎたのであるが micro probe analyser が現実に働き純鉄中の銅の拡散を追かけているのを始めて見ることができた。この装置は全米に 15 台あり、その 3 台は大学にあつて Stanford 大学では銅中の Zn の拡散の研究をしていたが装置は動いていなかった。また Siemens 社製の電子顕微鏡が 2 台あつて純鉄の転位の写真をケムブリッジ大学法の薄膜試料で撮影していた。

その他米の Westinghouse Research Laboratory の



第 5 図 Westinghouse 会社研究所 (米 Pittsburgh 市郊外)



第6図 Frankline Institute Laboratories
(米 Philadelphia 市)

基礎研究も見学したが、これは後述する。米の Battelle Memorial Institute, Frankline Institute Laboratories も訪れたが、後者は大部分を政府の資金で賄う研究所だけに一層基礎研究に重きを置き、高純度金属の研究、殊に帯融法に依る高純度鉄の製造とその性質の調査、金属単結晶の塑性変形における転位線の観察、格子欠陥、金属の異常温度における機械的性質、金属結晶の下部構造、回復と再結晶の基礎的研究などを大規模に展開していた。

以上のごとき中央研究所的傾向に対し、日本流の実用的な応用研究を主として行なっている研究所も見学した。たとえば米の New York 市郊外の INCO の研究所、英の Birmingham 市内の Mond Nickel Co. の D. & R. Dept. Laboratory などその例であるが、ただし、より本格的であり徹底的である点で日本の研究所と多少ニュアンスが異なっていたようである。

(3) 営利会社における根本的研究

応用研究のやり方にもいろいろの場合が考えられよう。ラグビーの練習にしても球の取扱いやパスの練習のみやる即効的な方法もあれば、その前の段階としてまづ脚力の養成のため走ることばかりから始める方法もありさらに徹底して座禅で精神を鍛えてかかることもある。金属の応用研究といつても欧米のそれはこの第三の場合に近いのではなからうか。

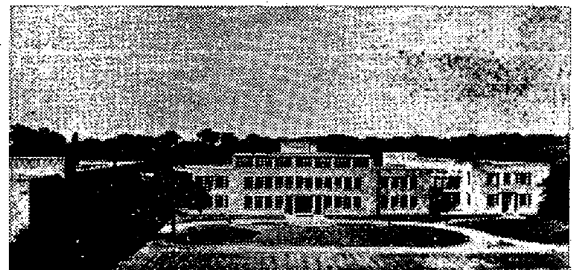
【例1】 The United Steel Companies Limited of Swinden Laboratories.

英国第一の製鉄会社 United Steel Co. は国内各地に約 23 の関係会社を有しているが、筆者は Sheffield の郊外に Steel Peech and Tozer と Appleby-Frodingham の二会社を訪れた。後者は英国第二の規模の製鉄工場の由である。この二つの工場はいずれも Central Laboratory と称するものを有しているが、これは日々の試験が中心で研究はほとんどやっっていない由であった。日々の試験といつても充分に研究的に行なわれてい

て、基礎研究とか開発研究を行なわないとの意味のようであった。たとえば Appleby-Frodingham 工場の Central Laboratory では品質管理のための統計部門が相当大きく 20~30 名の女子が電気計算機を使つて働いており、物理部門は主として電子工学と超音波試験を支持つておりいろいろの試みを行なつていた。カントメーターはやや古い型の一台あり、来週中には新型のカントバックが一台入る由で基礎工事を終つていた。スラッグを溶液にとかしてその中で炭素の車を廻して一方の陽極として火花を飛ばし SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , FeO の定量ができるのだといつていた。また陽極の先端にくぼみを作りそこにスラッグの溶液を入れて同じ実験を試みていた。カントバックではもちろん C, P, S などの元素の定量も可能になる由であった。

これ等の 20 に余る諸工場に共通の研究、または基礎的な研究は Sheffield 市郊外の Swinden 研究所で行なっているが(第7図)これがわが国の製鉄所の中央研究所に相当するものようである。

Swinden Laboratories には約 280 人の人が働いており、年間経費1億 2000 万円程度の規模で一巡した所ではわが国のそれと同じような研究テーマが並んでいるが、良く調べて見ると筆者のいう根本的研究の線が一本浮き出て来て、これを BISRA の根本研究と組合はせ



第7図 U. S. 会社の Swinden 研究所
(英 Sheffield 市郊外)



第8図 左より 筆者, Swinden Laboratory 副所長 J. H. CHESTERS 氏, 金森教授, Appleby-Frodingham 技術重役 A. JACKSON 氏(Ajax 法発明者) (於 椿山荘)

ると理想的な研究態勢となり一種の威圧を感じしめる。

(a) 焰トンネルに依る燃焼の研究

一例として炉と燃焼に関する研究を見ることにする。

燃焼には二つの因子が考えられる。

(i) 炉内のガスの流れ方

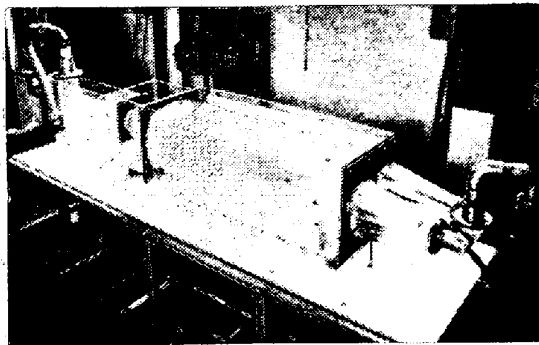
(ii) 炉内における空気と燃料ガスとの混合

また現実の炉ではこれらの燃焼ガスは固体の酸化物その他の粒子を含んでいて、これが炉内で沈積して炉壁摩耗の大きな原因となるので

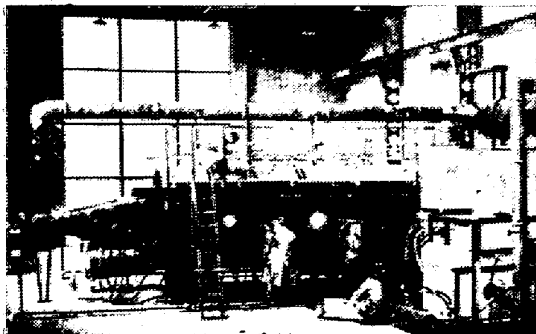
(i) 燃焼ガスからの固体酸化物の沈積の問題も取上げている。

(i)のガスの流れ方を一般的に研究するために第9図のごとき焰トンネルの1/24の模型を作り水を流して研究していた。ついでさらに大きな1/12の模型を作り熱風および冷風を送り(ii)に就いて調べている。(ii)については送風にアルミニウム粉またはパラフィンの小粒を混合して実験している。このような研究室における研究の成果は大型の焰トンネル(第10図)、平炉または再熱炉の実物を用いて追試を行なっている。

燃焼実験にはこの巨大な焰トンネルは大きな貢献をしている。この種の間試験的な実験は会社の開発部自身が実験に当たっている。この焰トンネルは毎時間100ガロンの油を燃焼させることができるが、油の噴霧化には水蒸気、圧搾空気のいずれもが用いられその結果が比較される。またこのトンネルには熱交換器が付属して燃焼



第9図 焰トンネルの模型



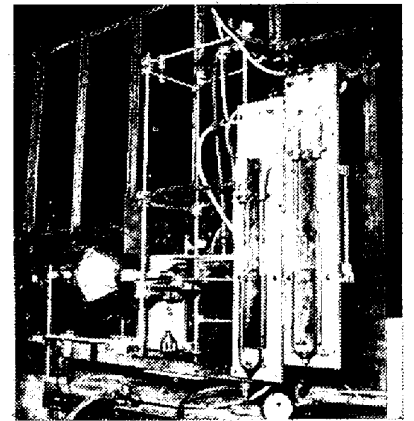
第10図 巨大なる焰トンネル

用の空気を700°Cまでの各温度に温めることができる。このトンネルに依つて上記の比較の他に、油に炭素粒を加えた場合とそうでない場合との比較も可能である。

(b) 各種の炉における燃焼の研究

(i) 平炉 平炉にスクラップと銑鉄を冷たいままに入れると1トンの鋼を作るのに600万B.T.Uの燃料が必要であり、これは製鋼費用の大部分を占める。油1ガロン(全燃料の約3%)減らすことができても大したことになる研究の甲斐のある仕事である。均熱炉と鋼片加熱炉に使う燃料は平炉のその1/4程度であるが、それでも研究対象としては大物である。近來平炉の燃料使用全量はいちじるしく増加してその結果平炉の寿命は短くなり勝て、ただ特別の耐火物たとえば超耐火シリカ煉瓦とか、クローム、マグネサイト煉瓦などの使用、それに空気力学的に巧妙に設計された炉形に依り辛じて在來の寿命を維持しているのが現状である。

第二次大戦後アメリカの技術の影響で多くの平炉の燃料は発生炉ガスから重油に切り替えられたがそれに用いるバーナーに就いては基礎的な数字はなく、主として trial and error の方法で作られていた。その研



第11図 IRSIDの重油バーナーの研究

究にはまず最初は実験室の小模型から始め(これは第11図のIRSIDのものと同規模)、ついで製鋼工場で実物大の試験バーナーで研究した。この理論と実験の双方からの研究からノズルの形状を決定しノズルの大きさ、油と水蒸気の混合割合などがバーナーの性能におよぼす影響を調べている。またノズルの各部分の寸法と、焰の燃焼速度や焰の長さとの関係を示す簡単なノモグラムが作られていた。この研究の結果は現実に鋼のトン当りの燃料使用量を少なくしている。

またバーナーの数に関する研究も行なわれていて、1, 2, 3個のバーナーを同時に用いた場合の焰の運動や混合状況を模型と空気力学の利用に依り研究され、高い熱効率と少ない耐火物の摩耗を目ざしつつある。

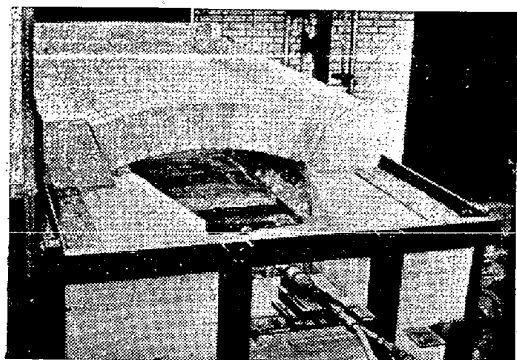
平炉の屋根の孔を通じて挿入したアルミナ製の丸棒を探索子とし、その表面に鉄の酸化物の沈着の模様をも調べている。この実験の由来は最初に屋根の各所の温度を

測定するために挿入した熱電対の保護管が鉄の酸化物に侵される程度が、各場所でもちぎるしく異なることから思いついたのである。実際の平炉で実験した探索子の棒は一定の長さに切つてこれを酸に浸けて酸化鉄の量を調べるのであるが、一つの場所でも棒の各部分に依つて1:40位の差があり、沈積の速度は大体の平均で $1 \text{ lb} / 1 \text{ ft}^2 / \text{h}$ の程度であつた。このアルミナ棒の使用は今では日常作業になつており、これと屋根の厚さの測定、屋根の温度の測定と組合わせて新しい平炉設計の参考としている。この酸化物の沈積は屋根材が酸性の場合も塩基性の場合にも、屋根の摩耗状態と密接な関係があることが判つており、沈積速度は炉内のガスの流れの状況殊に流れの再循環と密接な関係があることが判つている。

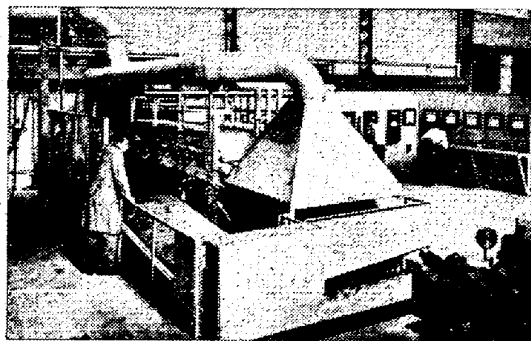
煙道および蓄熱室におけるガスの流れを調べるためにも水および空気による模型実験が使用されて、これらの入口および出口における流れの分布を良くするためにいろいろの工夫が行なわれ、入口には分割壁を設けスラグポケットと蓄熱室の間の隔壁の上には転向装置をつけた。この結果格子煉瓦の予熱を助けて高速度燃焼を可能にしている。

現在の平炉の形状はその発明当時と余り変つていない。その後に加えられた変更も局部的であつたり、いかかわしいものである。根本的に変革しようとするとな生産が落ちたり、耐火物がいちじるしく損耗する危険があつてそれがはばまれていた。このような根本的改革にはまず中間試験が必要で、たとえば1/6縮尺の高温模型が必要である。実際にこのような模型が第12図のように100tの固定床の平炉について作られている。これらの模型は平炉のバーナーの位置や屋根の高さの影響について目下数字を与えつつあるが、さらに根本的な形状の変化に関する知識を供給するものと期待されている。同じような研究が縮尺の格子煉瓦積および再熱炉についても行なわれている。

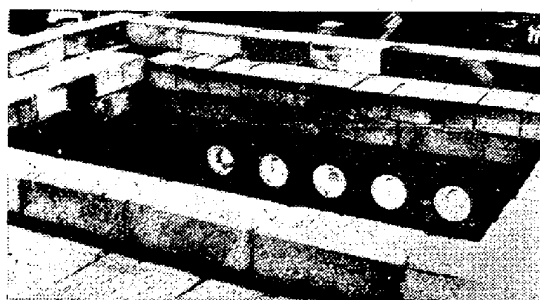
(ii) 再熱炉 この場合も大きな変革は大変高価な



第12図 100t 平炉 1/6 模型



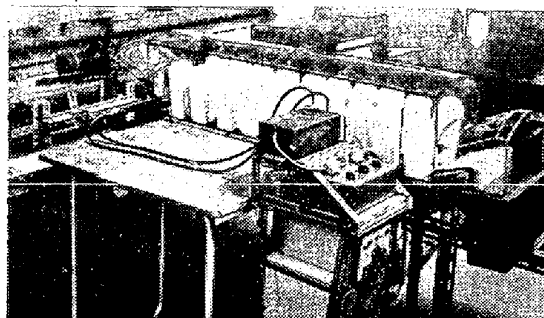
第13図 鋼塊再加熱炉の 1/5 模型



第14図 鋼片急速加熱の実験炉

ものになるので、まず1/5縮尺の連続押出式再熱炉について実験が行なわれている(第13図)。これは全自動式で十分に計測化されている炉であるが、2"角の鋼片を圧延温度に加熱することができる。また第14図のようにslabを急速に加熱する研究が行なわれ、強力なバーナーを短い間隔に並べて強力な加熱方式を試みていた。

(iii) 均熱炉 これに関する研究としては日本でもしばしば行なわれているように空気による模型実験と実物とを比較するだけの実験した行なつていないようであるが(第15図)それでも設計の改善について進言できる段階に達している。もちろんこのような研究には頻ぱんな実験室と現場の話し合いが必要不可欠のものである。実験室の模型に特別な特徴たとえば流れの異常があらわれるとただちに実際の炉について観察し、また水冷したピトー管を用いて実際に測定することが行なわれている。



第15図 鋼塊再加熱炉の模型実験

特殊な測定のために研究者達が思いも寄らなかつた装置を作らねばならぬことがある。そのよい例は不定常かつ低速のガスの流れの測定である。そのために特別のピトー管が各方面の専門家の共同で作られていて、間もなく平炉および再熱炉の多数の研究に使用されるであろう。これを用いるもう一つの新しい問題としては空気汚染の問題がある。これでは流れの速度分布が最大の問題である。また一方ではこの問題は廃棄ガス中の固体の量を測定する特別の工夫が必要である。この研究所で工夫されたその方法は実験室の換気とか、不活性ガス溶接のトーチに就いても利用されている。

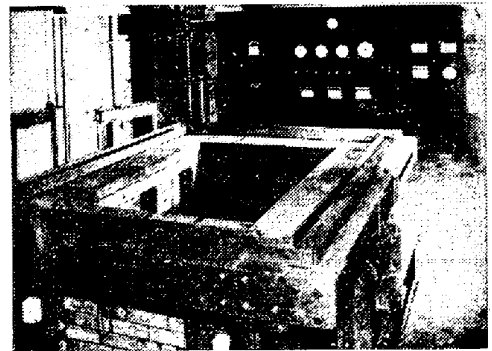
(iv) 焼結炉 製鉄工場の燃料は熔鉱炉および焼結炉に使うコークスであるが、焼結のさいのコークスの燃焼の研究がこの研究所で行なわれている。実際の焼結炉では粉碎した鉱石と少量のコークスを混合して、これを着火天蓋に依り着火し焰は炉床の下方より炉床を通じて吸引されるのであるが、その焼結速度は炉床を通過して空気が吸引される速度に大きく左右される。この研究所で「39段階」と呼ばれている一連の研究に依り(週3回13週間続行)焼結量は吸収される空気の分量に比例することが判明した。この空気の流れを扶けるあらゆる手段たとえば炉床の湿度の制御とか、鉱石の予備ペレタイジングなどはいずれも生産増加に有効な方法であるとの結論に達した由である。

(例2) BISRA の Battersea 研究所および Sheffield 研究所の炉の研究

ここで筆者が BISRA の二つの研究所で見学した事項の中、炉に関するものを取り上げてそれが民間の研究にどのように寄与しているかを述べたい。ロンドン郊外の Battersea にある研究所の流体研究室ではガスの対流に依る伝熱の基礎研究を行なつていて、固体を気体で加熱するときに大きな役割をするのは固体表面における静止層で、その存在のために摩擦力すなわち skin friction が働くのであるがこの摩擦力が気体と固体の間の熱伝達係数に如何に影響するかを調べていた。表面層付近の速度分布は顕微鏡的な微小ピトー管に依つていた。この研究などまず加熱炉に関する根本的研究と称すべきか。

Sheffield の BISRA (第3図) は塑性加工研究を主目的として約 350 名の所員が働いているが、そこには 80 t 平炉の 1/8 模型があり最高 1250°C の温度が出せる。焰と鋼片、焰と熔鋼の間の熱伝達の研究を行なっている。炉の床や屋根に水を流して炉全体を一種の水熱量計として熱のバランスを測定していた。ここで得られる

各種の熱伝達係数は関係各会社に供給されて各会社の炉に関する多くの開発研究の基礎となつていている由であつた。Swinden 研究所において筆者はこの装置が Swinden の平炉模型の研究と重複して不経済でないかと質問したのであるが、それは思いちがいで BISRA で得られる基礎的な数字を元にして、各会社が特有の実験炉を作り燃料口の形状や傾斜を変え能率的な作業方針や新しい炉の設計を打出しているのであつて、BISRA の先駆や基礎データがなければ到底営利会社は大規模な研究をスタートさせることができないだろうとのことであつた。なお BISRA の小型平炉と大型平炉の間に流体力学的にも熱的にも相似則の成立は見出せないが、諸変化の方向は良く合うとのことであつた。余談であるが Sheffield の BISRA の製鋼部門には約 33 名の人々が働いている由である。また Battersea の物理部門では Aerosol の研究を盛に行ないサイクロンその他を利用して Aerosol から固体粒子の沈んでん状況を調べていたが、これは製鉄所の空気汚染の根本研究というべく各会社で特別の儲けにもならぬこの研究は BISRA にふさわしいものであるとのことであつた。



第16図 BISRA の試験炉

また加熱炉の効率を調べる研究として(第16図)のごときパッチ型の炉を作り内部に 4 t の鋼塊一個を加熱できるようにし、各種の試験を行なつていた。炉の上にクレーンがあつて屋根を自由に取換え、その屋根の厚さ、耐火煉瓦の種類を変えることができる。またバーナーの位置や、作業方法などを変えて炉の効率や鋼塊の加熱状態を調べている由である。筆者見学のときは電熱に依る間接加熱のさいの炉の効率を調べていた。

BISRA はその調査の仕事としてイギリスの鍛造用加熱炉の効率の調査を行なつていた。全国の炉の半数を選んで調査したが、これらの炉は測定機器に依る制御はほとんど行なわれておらず、炉の効率が実測されているのはわずか 11 基に過ぎなかつた。それで BISRA は Walter Somers Ltd. 会社の 65 t 容量の近代的な重油

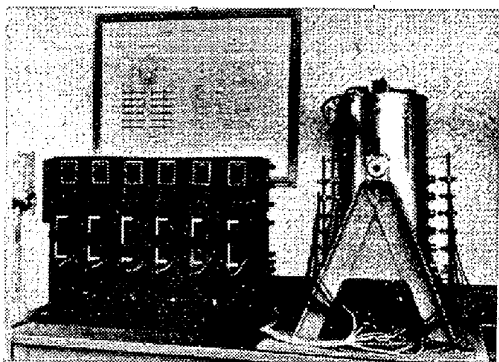
バーナー炉(バッチ式)を試験対象にとり上げ一回の操業サイクルについて1時間ごとに熱バランスを計算したがその炉の加熱効率は平均 11.5% であつた。炉の効率に影響する多くの因子が明らかになり、かつ炉壁の表面温度または鋼塊の表面温度が判れば鋼塊の中心温度を言い当てることも可能となつた。

また均熱炉については Swinden 研究所の場合と同じく透明な鋼塊模型を並べ、オガ屑を燃やした煙を流して燃料ガスの流れに関する研究を行なつていた。また均熱炉の熱交換器の実物に近い模型を作り熱風を流して熱の交換状況を調べていた。

どういふ目的であるかよく判らなかつたが鋼塊の鋳型を急速に冷却する実験を行なつているといつていたが実物は見ていない。

このような炉の研究に呼応して加熱される側の鋼塊の熱的特性の研究が行なわれているのは当然であろう。第17図の Swinden 研究所にある装置と同様な高温における鋼の比熱測定装置や熱伝導度測定装置を見ることができた。第18図は仏の IRSID における実験状況で大型鋼塊に6本の熱伝対を挿入して、加熱のさいの鋼片内の温度分布および温度上昇を測定しているものであるが、この種の実験は英では見学しなかつた。

また直径 6" の軟鋼の棒を普通の電燈線の周波数の電



第17図 Swinden Laboratories の鋼の熱伝導度測定装置



第18図 鋼塊の加熱試験



第19図 小型電気炉の熱効率の測定

気で誘導加熱する実験が行なわれていた。その電氣的能率は 68% を越え、全能率は 66.5% でこの方法で 6~18" 直径の鋼片の加熱が可能になつた由である。

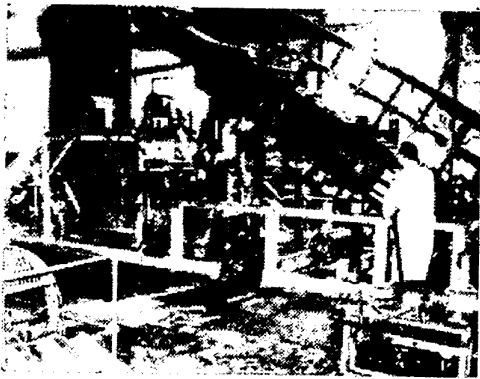
また燃焼ガスの温度を測定するのにガスを吸い出してその温度を測定する suction pyrometer が用いられている由であつた。

Sheffield の研究所には 1t の小型電気炉があつたがこれは以前には電気炉の熱効率が操業状況に依つて変化する有様を測定(第19図)するのに使つた由であるが、今は連続鋳造の実験用の鋼をとかしていると話していた。

帯鋼の連続焼鈍の研究を BISRA は長年やつており初期の研究結果は、1サイクルの加熱時間を3分から10秒以下に引き下げ得ることになつた。このように焼鈍した帯鋼のコイルは過時効させる必要があつたがその温度は最初は 300°C で行なつた。その後それを低くして酸化を心配しなくともよい程度の温度の過時効で十分であるとの結論になつた。

帯鋼を製罐に用いるには硬度以外のいろいろの性質が要求されるが、それを調べるにはかなり大型の試片が入手である。第20図のごときガスの加熱炉で 125mm 巾の帯鋼を 700°C まで6秒で加熱したのち適当な温度の油の中に焼き入れて捲取つている。こうして大量に作られた試験材料を製罐工場に送り実際に罐を作り試験をしている。

なお比較的厚い板の急熱の研究にも着手しているが、その予備実験として急熱の影響を調べるために 0.025mm 厚さの軟鋼板を急熱して再結晶現象に対する焼鈍温



第20図 ガス加熱による帯鋼連続焼鈍試験装置

度、結晶粒度、硫黄量、冷間加工度などの影響を調べている。

以上は筆者が BISRA の研究所で直接見聞したものの中から炉および燃焼に関する部分を抜き出したものであるが、BISRA のカタログに依ればなおつぎのような興味ある実験がある。それは流動床の熱処理への応用、滲出冷却の研究などであり他の化学工業に用いられている手法をこだわりなく、鉄鋼業に取入れているのは面白いと思つた。

前者は 50 kg の重さの鋼塊の冷却に流動床を用いる中間試験であり、自然冷却で 380 分を要した冷却が流動床内では 46 分で終了した由である。また 1250°C の流動床で帯鋼の連続焼鈍を行ない然も固体粒子の損失を来たさないようにする研究も行なわれている。また固体粒子を含んだ高温ガスを高速度で循環させ、その中で材料を加熱または冷却する研究も BISRA で行なわれている。この流動床の小規模の利用としては英の Birmingham の Mond Nickel 会社の中央研究所でガスタービン翼の熱疲労試験を行なつていたが、その加熱のさいにこの流動床加熱を行ない試片を急熱していた。

後者の滲出冷却 (effusion cooling) も筆者は直接見学したわけではないが、製鉄所で用いる各種のランスまたは試料採取用の器具の冷却に水ジャケットが用いられているが、ジャケットは一般に大型で複雑な形状となることが多い。布または紙を滲出してくるきわめて少量の水が高温度の焰の中で布または紙の焦げるのを防ぐ事実があるが、この現象を水ジャケットの代りに用いようというのである。多数の孔をあけた鋼の円筒を石綿の布でつつんだもので水を滲出させて、焰トンネル内でいろいろの実験を行なつていて、将来有望の方法の由である。

以上のごとく炉および燃焼の熱的方面を取上げて見ても如何に彼らが徹底的に根本から事物を研究しようとしているかが判ることと思う。殊に各会社の中央研究所に BISRA が加わると恐怖さえ感じさせる凄味のある研究

態勢となるのではなからうか。BISRA の研究が各会社のそれに重複するのではなく、各社の基礎研究の基礎を根本研究の根本を BISRA がやつて各会社の研究に自信と勇気を供給しているのではなからうか。ときには前車の轍を踏むことなかれと老婆心も供給しているのではなからうか。

(4) 基礎研究または根本研究重視の理由 (本格的なものが勝つ)

米国では人工衛星の立おくれ以来、基礎研究は科学技術の進歩のための肥料といつて、異常な努力を傾倒し、政府は会社の研究所に対しても多額の研究費を補助してまで基礎研究を行なわしめている。然し今日各会社で基礎研究を重視する原因は単に人工衛星の立おくれだけでなく、もつと深い所に根ざしているように筆者は感じて帰つて来た。

日本も含めて技術に後進性のある国では、海外から技術を導入して他会社との競走に打勝つとか、国内においてもいろいろの思い付きで技術の発展を促す余地がある。所が欧米のごとく行く所まで行きつてしまつて最高のレベルで各会社が肩を並べるとうまい話は何も残つていない。いかにすばしく立廻つても甘い汁を吸う余地はない。技術を導入したくとも相手国はない。これ以上の発達は自分の手に依る開発を待つ以外に手はない。相撲でいえば横綱相撲で、小手先の奇手は通じない。そんな状態で相手にまさる方法は、自分がより本格的により強くなること以外にない。それが彼らの技術進歩に対する根本思想、根本信念なのだ。もう覇道はあきらめて王道に依らざるを得ない状態なのだ。

それにはまず自分の手で種を播き、これを発芽せしめこれに基礎研究の肥料を施して苗木とし、さらに根本研究に依り成木とし、応用研究に依り美しい花を咲かせようとしているのだ。日本では肥料を施す勞、苗木を育てる暇をおしんで (万止むを得ずそのようにして来たのであるが) 欧米から美しい切花を買っている。自分が育てた花と買って来た花とはまるで愛着がちがう。愛着がちがえばその取扱いや心配りがちがう。何と彼らの工場にしても隅々まで細かい工夫が行き渡つていることだろう。

買つて来た花がしほみかけるとまた買つて来る。昨年末の東京朝日新聞の経済面を見ると「自動車産業、外国技術を積極導入、育成方針、考え直す通産省」との見出しがあり、当局者の言として「いままではなんでも外国技術は入れまいとしていたが、考え直す段階に来ている」とあるが切り花がしほみかけたのであろうか。筆者のごとき局外者は事情が判らず、何もいえないが、国産

技術にも基礎研究の肥料を与えねばならぬとの自覚を言外に含んでいるのであろうか。

本格的にならうとの努力は各会社の中央研究所を見れば良く判る。絶えず基礎知識を供給されない研究所は自分自身で成長して行くことはできない。いくら巨費を投じて装置を集めてもやがては衰えて行くのだ。基礎知識の供給されない応用研究は伸び得ない。研究所の本尊の神様は研究だ。それをあがめ奉つて少しでも不敬のないようにしている。物音一つしない広い公園のような敷地に、近代的な清潔な建物、研究者の任務は研究費や装置の入手に苦勞することではなく考えることにありと豪語する所長、研究所の掃除は一切深夜に行なわれて研究を妨げない、勤務時間の制限はなく深夜に飛んで来て Idea を験してもいい、欧米でもつとも美しく清潔なのはもはや宮殿ではなく中央研究所でなからうか。研究がうまく行かねば研究者の頭がわるいこと以外に原因がない研究

(文献 679 ページよりつづく)

材料試験 10 (1961) 89

繰返圧縮荷重を受けるコイルばねの変形および強さ

(第3報). 河本 実, 他...81.

ねじり加工による残留応力と疲労変形.

桜井忠一, 他...89

22Cr-1Cu フェライト系および 18-8 オーステナイト系不銹鋼の熱疲労. 平 修二, 他...96

18-8 Mo-Nb 不銹鋼の熱疲労, 平 修二, 他...104

各種錐孔を有する軟鋼試験片の回転曲げ疲労について 森島鎮離, 他...111

分析化学 10 (1961) 3

ポーログラフ法による高速度鋼中のバナジウムの定量. 浅岡 博...255

補正係数法によるW含有低合金鋼中のクロムの蛍光X線分析. 桃木弘三...292

—研究機関誌—

Bulletin of the Tokyo Institute of Technology (1960) No.5

Effects of alloying elements on notch toughness of sorbitic steels. M. TANAKA, et alius. p. 235

北海道大学工学部研究報告 (1961) No.24

鋳鉄の寸法変化に対する直接変態と間接変態の相違について. 萩原 巖, 他...71

鋼心鋳鉄の成長試験. 高橋忠義...77

Transactions of National Research Institute for Metals 2 (1960) 2

The effect of niobium on properties of 18 chromium-12 nickel austenitic stainless steels. R. NAKAGAWA, et alius. 63

Continuous cooling transformation diagrams of steel for welding and their applications.

M. INAGAKI, et alius. 102

東京工業試験所報告 56 (1961) 2

オーステナイトステンレス鋼の応力腐食亀裂について

所が実現しつつある。また欧米の現実としては、立派な学者がおり高度の基礎研究が行なわれて学問的雰囲気の高い研究所でないと大学の卒業生が来ないのだそうである。将来自分がそこで教育され立派な研究者として伸びて行ける所でないと就職者が来ないのだそうである。米国ではいい報告を出せばつぎからつぎへと高給の所へ移れるのであるから、これは当然である。また初任給が比較的高いが長年勤務しても大して昇給しないので会社を移るのが一つの昇給の手段の由である。

大きな会社たとえば Westinghouse 会社のごとく従業員 65,000 人もいる所では、各部門で少しずつ基礎知識を必要としても、集計すると悠に一部門を形成できることもある。日本の大会社も同様な事情になりつつある。

これらの立派な研究所が会社の PR となることはいうまでもなからう。(つづく) (昭和 36 年 1 月報告)

(第1報). 梶野秀夫, 他...51

名古屋工業技術試験所報告 10 (1961) 2

焼結金属引張試験片の形状と寸法 (第2報).

林 悦雄, 他...76

— 10 (1961) 3

溶鋼と耐火物との反応 (第5報) 蓑輪 晋, 他...152

機械試験所所報 15 (1961) 1

軟鋼板の摩擦特性におよぼす冷間圧延加工履歴の影響 中村慶一, 他...20

—会社刊行誌—

日曹製鋼技報 1 (1961) 1

異相平衡化学系における相律の応用.

的場幸雄, 他...1

還元過程における鉄滓の電気伝導度について.

高井 清, 他...32

塩基性電気炉製鋼における脱水素および脱窒素. 小池 伸吉, 他...47

純鉄の磁性におよぼす不純物および配合原料の影響.

進藤久雄, 他...57

直接還元法のエネルギー消費量について.

佐藤良吉...71

日立造船技報 22 (1961) 1

調質鋼溶接部のき裂伝播特性に関する実験. 中井恒男 他...1

ルルギ D.L. 焼結機について. 山根寿己...67

電気製鋼 31 (1960) 6

珪酸質介在物の鍛造による変化. 梶山太郎, 他...333

黒鉛鋼の研究 (第1報). 藤原達雄, 他...340

ステンレスばね鋼線の研究 (第2報)

藤原達雄, 他...347

日立評論 43 (1961) 2

砂鉄系原料鉄の配合量を異にする3種の刃物鋼のガス含有量について. 菊田光男, 他...96

新三菱重工技報 3 (1961) 1

金属材料の焼付キ摩耗特性. 会田 博, 他...70