

## 特 別 講 演

# 大量生産と高品位鋼生産の観点よりみた

## その将来の進歩の見通しについて\*

アントニオ・スコルテッチ\*\*

1. この講演内容についてご説明するのに先きだち、まず私の経てきた経験が、一般の製鋼関係者の方々とは相当に異なつた特殊なものであつたということを申し上げなければなりません。

私は、私のこれまでの生活の大部分を工業界で過してまいり、したがつて経済的な面や労使関係の面も含めたいわゆる生産全体についての生産組織、生産管理について技術的な知識、経験を学びとることができたのであります。このような私の工業界において得られた経験にさらに国際的な技術、経済共同体の委員として吸収することができた別の経験もまた私にとって非常に幸ひいたしましたと申すことができます。他方ここ26年私は大学において講座をもつておりまして、これにより大学の冶金研究室の雰囲気、考え方も持ち続けることができ若い学生たちに現在までに行なわれた価値のある研究実験を教え、経済的な見地には全くかわりない立場から基礎研究や応用研究を実施してまいりました。

工業界と科学研究分野との間での問題や意見の交換ということは何時でも問題になつてきているものであります。私が本日ここで申し上げようと思つております量産と品質の問題についての反省、考察はこのような私の経験から導かれたものでありまして、全く私の個人的な考えであり、参考とした文献があるというようなものではないことを申し添えたいと存じます。

2. 鉄鋼業の発展における技術的な原因、因子は経済的、社会的、政治的因子と関連性をもつていのであるから、鉄鋼業の改善について考えるときには当然きわめて現実主義的な見地に立たねばならぬ訳である。そこでまず最初に、この後者すなわち鉄鋼の技術的要素に関連した経済的、社会的、政治的要素についてお話ししたいと思います。

われわれ人類の発展と福祉増進のための弾力的な条件を決めるのには、何が最も有効な方法であろうかという

ことを、この広大な世界に生活する人々、なかんずく指導階級の人々が考えるようになったのはここ20年ばかりのことであるといえましょう。

まず発展途中にある未開発国では経済市場から資本財、消費物資をむやみやたらに買いこんだり時にはこれらを援助ということで受けとる代りに、原料品や種々の地方産品、役務を交換に差し出している。このような新しい世界的な傾向から、直接、間接に鉄の需要が徐々に増加していることはすでによく知られているとおりであります。

発展段階の異なる種々の国におけるこのような進展状況に関する豊富な統計資料から、それぞれの国における資本ならびにこれに対応した経済規模に応じた鉄鋼消費量を求めることができるのであるが、これから世界の国の中には現在の国内需要を上まわつた、または上まわることのできる鉄鋼生産を行ないうる国があり、これらの国では低開発国に直接間接にこれらの鉄鋼生産品を輸出することによつて、開発国の発展を促進しているのであります。

すべての発展途次の未開発国における鉄鋼生産品に対する需要見通しは、確実な情報を基礎に検討した結果さらに拡大するものと予測され、したがつて国内需要と国外からの買付け希望に対応して、新工場による新生産規模の拡張、既設工場の生産規模の拡大を確立することは可能であると考えられます。

政治的原因にもとづく混乱があつても、先に述べた状況からかなり明確に次のような半定量的結論を下すことができよう。すなわち世界の鉄鋼需要は今後さらに相当長期にわたり連続的に増加の傾向をたどる。

3. 以上に述べた結果として、何か突然の鉄鋼需要減

\* 昭和40年4月7日日本会50周年記念特別講演会にて講演

\*\* FINSIDER 鉄鋼研究所長

少の原因が生じない限り、鉄鋼業を作りまたは拡大する希望をもっている国においては、鉄鋼生産量の長期にわたる増加を目的とした投資は、投資目的の選択としては極めて賢明な選択であるということができよう。

これに対し、すでに鉄鋼生産量が高度の国内消費量をまかなうだけになつている国においては、急激な国外需要の低下による遊休施設のかかえこみや、大量の労働力の再編などの不愉快な状態に落ち込むことを避けるため、一時的な高度の直接、間接の国内需要にまどわされて、この平衡値を余り超えないように極めて慎重に処置せねばならないと思われます。

4. 一方、開発途中の未開発国では、鉄鋼業の創設に当り、国家経済全体の中での比重を無視したような超優先的取り扱いを行なうことは、巨額の資本を固定することとなり、主要な国家的経済目標をバランスさせながら発展させるという見地からはきわめて有害となるので避けねばならぬことである。

このような考えは、経済機構というものは非常にデリケートな組織体であつて、その発達のためには現在のバランス状態を妨害しないようにせねばならないという考え方に立脚しているもので、したがつてその出発点よりも改善されるよりはむしろ悪くなるような種々の相乗効果を加えるようなことは避けなければならないと思ひます。

経済史がわれわれに教えるところによれば、一定の経済発展率を保つてきた国が、不適当な経済政策の効果のため社会改革を行なわなかつた場合転落していつた例のあることを示している。

このことは、鉄鋼投資もまた他の産業分野におけるどのような投資も、経済組織状態全体に応じて処理されねばならないことを物語っているものだといえましよう。

しかしこのような投資の経済組織全体への従属関係はそれが自分自体から適応された場合でも、また外部からの力によつて適応した場合でも、単に上からの命令のままに行なわれることなく、慎重に熟考したうえで決定されるべきものでなければならないと思ひます。

5. 非常に工業的に発達した国の中には、政府がある工業分野、この中に鉄鋼業も含まれるのであるが、について、その利益を相当多額に吸い上げているという話しをよく聞くのですが、これはその工業の改良のための投資の資金源の枯渇の原因を作ることとなり、決して経済発展の目的からよいこととはいえないと思ひます。

しかしながら一方、このような投資はまた、その産業分野、あるいは関連産業分野と全く独立した状態でこれらに関係なく行ないうるものではないということも忘れ

てならないことだと思います。実際問題として幾つかの諸工業界においては、これらの投資は、不況時に使用するための備蓄を目的とし、またはより良い生産性を得るための再投資として行なわれているのですが、このような投資を行なつていない他の産業や他の同業者は存立を続けるのに相当の苦闘をしなければならないのです。

6. いずれにせよ、このような産業の発達にともなつて消費物資を生産する労働力と、資本材または役務の生産に使用される労働力の比率は、消費と投資の間での利益の割合の変動にしたがつて変化してくる。この比率は、究極的には消費物資に関係したすべての生産量が増加する方向に向うのであるが、その間の過程で常に諸産業間で調和のとれた割合にあることが必要とされるのである。

この場合の最も一般的な最適条件を決定する問題は、実に何万という多数の条件の中から決められねばならないのであるが、これにはすべての経済的、社会的要因を勘案したうえで政治的に処置されねばならないものと考えます。この場合の目標は、時々刻々に進歩発展する産業組織の要求度にマッチした状態で、消費財物資の生産を最大限促進させることにおかれるべきものでしょう。

7. この問題の解決策として一般に現在考えられている方策は、planning ということだと思います。これについては、すなわち経済を計画的に行なうという計画経済と、企業者の自主性に任せる自主経済の両者の間では多くの国で賛否両論がたたかわされている訳ですが、私の考えでは、このどちらがよいかという議論はごく近い将来、単に各国の国内問題としてだけにとどまらず、国際経済の場においても議論されることになるものと予測しております。というよりもこういう状態は現にもう生じているといえるかも知れません。

この問題の正否について考えた場合、私はその基本的な態度として哲学的な正しい見解にたつて観察するならば余り大きな矛盾撞着なしにこれについての正しい判断を下しうるのではないかと考えております。

鉄鋼業は経済発展の主幹産業である立場におかれているのでありますから、どんなものにせよ実施可能と考えられる経済的な政策の受け入れについて消極的であつてはならず、逆に常にその時代の最新の考えをもつようにつとめねばならず、また経済全体の将来、一般の福祉についてより慎重に考慮せねばならない立場にあると思うのであります。

ここでわれわれが慎重に最善の道を選ぶに当つて人間的な条件、つまり心理的な要因は技術的、経済的、社会的な要因とともにわれわれの考えねばならない非常に大

切な条件であると私は思っております。人間、個々の人間の心理的な要素は、私は非常に重要な役割を演ずるものと思っております。過大視することはありませんが、無視することはできないものだと考えております。

ここで、人間の本質的な心理的動作について論ずるつもりはありませんし、またこれは誰方でもよくわかっていることであります。人間の心理の向上、進歩は徐々にではありますが常によりよい方向へと変革していくものであり、しかもその手段方法は人によつて皆違うものであるということができましよう。

自由な発想にもとづく自主経営、それはその当人の自主性の責任として常に絶え間ない心配懸念に脅かされ、耐えていかねばならずまた時には失敗に陥つて経済的ピンチに追い込まれることもあるのではあるが、しかしそれでも、能力のある人々にとつてその行動を推し進めていくのにこの自主経営は最も効果的な因子であるということができましよう。

とにかくこのようになんらかの方法で生産性あるいは生産が増加してくれば、それによる一般的な利益、福祉が何時か必ず生れてくることは間違いありません。イタリアの諺を引用しますと“まず熊を射て、それからその毛皮の分配について考よう”という例にあてはまるといえるでしょうか。

しかしこのような自主企業においては、企業経営者、これに関連した者は非常に大きな消費者であり、彼らが利潤の相当部分をそれに関係のある団体、国家または地方あるいは家族がさらに消費しようとするような利潤を求めて投資する傾向があり、その支配する産業にこのような意味での満足を与えるような至上命令を生ずることとなり、結果的に一般の利益、福祉に反する方向に進むという弊害があることも考えねばなりません。

自主的な行動によるこのような一般の期待に反した弊害は、自主的であるからこそ得られるダイナミックな活動によつて一般の消費に関係した消費物資生産を高めることができるという事実で帳消しにすることができるものであろうか。私は十分帳消しできるものだと考えております。

私の考えでは、現在存在する釣合い状態を混乱させるような危険を冒すことなしに、個々の特定の場面に生じ

た困難についてこれを克服することのできる対応処置を考えることは可能だと思います。

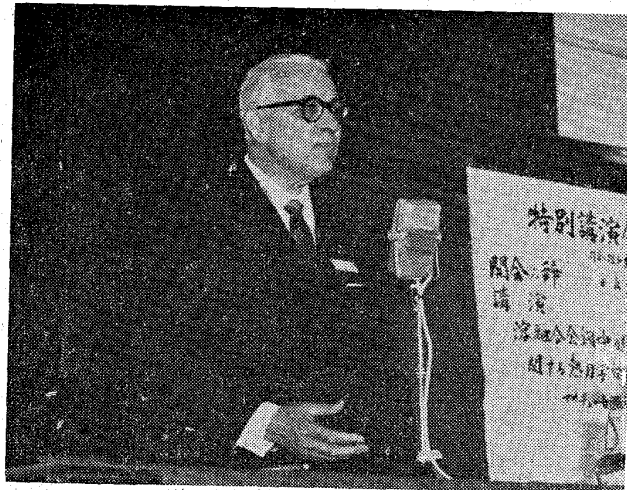
8. 総括的な経済活動の計画実施は確かに生産材の最も公正な配分という点で優れておりますが、この計画経済はその内部にこれによつて得られる利益を帳消しにするほどの内部欠陥を含んでいると私には考えられるのであります。それはまず第一に、計画経済はその決定権を非常に高いレベルの階層内に保持していくことは容易ではなく、この実施権はだんだんに低い層へと移つていつて、初めにあつたダイナミックな精神の創造性は抑止される結果を生ずることになるからです。また第二には、その趣旨は非常によいものであつても、ある場合には時間とともに非常に大きな誤りを犯すこともあり、かつその修正には相当の時間がかかるということが考えられます。

以上の点を考えてみると、当初考えていた計画経済の最終目的、福祉を最大限に進長することを保持するというすべての人、すべての会社、団体、国家が皆異論のないこの最終目的を危うくするような危険を計画経済は孕んでいるということができましよう。

9. 私は結論として次のように申しあげたい。鉄鋼業にたずさわる者は、単にその大きな名前に満足するだけでなく、われわれに課

された重大な責任についても考えなければならない。鉄鋼業は単にわれわれ人類のもつ諸産業中での重要産業というだけでなく、諸産業に密接な関連性をもつ最も重要な位置を占めているという点から、諸産業の要めに当るものだということができよう。

したがつて、われわれがどれを採り上げ、どれを拒否するかということを決するに当つては、それが一般の福祉に絶対に背反しないということが要求される。あるいは倫理、道義的な点について、他の技術、科学的な因子よりもより慎重により聡明に考慮し処置していかねばならないということができましよう。このような考え方で鉄鋼業の将来の運営を行なつていくことが、この産業を最も長く存続させようする方法であり、かつ将来にわたり常に絶え間ない発展をもたらさう因子であると考えております。



講演中のスコルテッチ博士

## 大量生産

10. 原鉱石から鉄を精錬する方法は現今そのほとんどが高炉操業によつております。これについては、この50年、中にはごく最近行なわれたものを含め別の方法を用いてみるという企てが実に多数行なわれてきたのでありますが、そのいずれもが現在の高炉操業法をかえるようなものを確立するまでにはいたっていないのであります。

従来から行なわれてきている方法が存続しうるのは、単に新しい方法が不確定で時にはマイナスの結果が得られることもあるという理由によるばかりでなく、その装置あるいはその操業技術上実に多くの改良が加えられそれらが使用効率を著しく改善することによつて、時とともにより安定した方法として確立されているからであります。

大半の鉄鋼関係者がお考えになつておられるように、私も現在の工場施設の重要性を考慮に入れたうえで、高炉はさらに今後相当長期にわたつて鋼の量産の面において主役を演ずるものと考えております。

しかしだからといって私はあらゆる面における研究はもう必要としないなどと言うつもりはありません。さきに申しあげたように鉄鋼業があらゆる産業経済の発展の中で特に卓越した位置を占めていくためには、新しいアイデアを常に開発し、あらゆる点から検討するという時間と金のかかる研究を継続して行かねばならないと考えております。

11. 1954~56年の欧州における鉄鋼需要の増加は銑鉄生産の拡大を必要としたのでありますが、この結果、この生産上最大の隘路はコークス用炭の不足であることがはつきりしてまいつたのであります。このため欧州石炭鉄鋼共同体 C E C A はコークス炭消費を縮減し得るだけコークスを使わないですむような他の燃料の利用法、あるいはコークス炭を全く使用しない溶解法による鉄鉱石使用量の節減に関する研究を推進してきたのであります。

このような C E C A の方針、あらゆる業者のこの方面の努力、研究によつて鋼の製造過程に関する技術的な進歩はきわめて顕著なものがあつたということができましたよう。

高炉操業、その他の溶解法について実にあらゆる面から深く掘りさげた研究検討が多数の研究者、専門家によつて行なわれ、その結果より良い操業技術を実施するためのぼう大なデータが公表されるようになり、世界中の技術者がその実験結果やアイデアを交換しあうようにな

つたのであります。この結果得られた最高の基準による最も新しい方法は現在共同体内の鉄鋼工場で一般に広く使用されているのであります。

このような大量のともいえる多数の人々の自主的な行動が、世界の鉄鋼産業に相乗的な良い効果を与える誘因となつているものと私は思うのであります。

12. しかし一方従来の高炉による方法と異なつた新しい還元法についての研究も幾つかの国で行なわれているのでありますが、これは主として経済的な事由によるものであります。すなわち小規模の製鋼業者あるいは開発途次にある国における製鋼業においては、スクラップや銑鉄を他の会社または他の国から買入れている現状で、したがつてこれらの国では原料銑に左右されない操業についての試みが行なわれている訳であります。一方完全な規模をもつた鉄鋼業を創設することは非常に難しい事業であります。このような完全な規模の鉄鋼業を創りあげたとして、その製品が十分競争力に耐えるだけの価格で売ることができるようになるためには、最小限相当容量の鋼を産出する能力が必要とされるばかりでなく、溶解の基本作業から大量投資の問題、単に製鋼技術のみでなくこれに関連のある無数といえるほどの附帯産業についても十分の知識と能力とが企業者から技術者にいたるすべての分野の人々に要求されるという問題などいろいろの難問があるのであります。

開発途次の国においては中小の国だけでなく相当に大きな国においても、その経済状態の許容度から、完全規模の鉄鋼業を建設するには最小規模のものしか許されえないのが実情であります。これが幾つかの開発途中の国やさらにはすでに相当に発展をとげている国においても上記のような新しい還元技術の開発研究が今日なお行なわれている理由なのであります。もしこのような方法が完成した場合には、あまり過重な投資を必要としないことが予想され、したがつてこれが開発途次の会社や国が鉄鋼業建設の第一段階に適用するために新しい高炉に代る還元法の研究を各種の会議に発表したり、あるいは特許をとつたりということを繰り返し繰り返し行なわせている魅力の原因なのだと思います。

13. 以上の諸点を考慮してみた結果として鉄鋼生産効率をさらに技術的、経済的な見地から改善するのに最も安全な方策はやはり高炉操業法であり、この細部の改良を丹念に行なうために相当量の研究を集中的に実施することが最も間違いない方法ではなからうかと思つてあります。

ただし、いま各所で行なわれている新しい方法についてもこれが何でも彼でも悪いという訳ではなく、高炉

の場合にくらべて効率が確かに悪いということが確認されたならば、いさぎよくこれを捨て去るべきであろうと考えるのであります。各種の方法についてあらゆる問題を常に連続的に比較検討することによつて、われわれはすべての人々が将来の発展のための豊富な資料を得ることができるものと信じております。

14. 高炉以外の方法は高炉法にたちうちできないという理由は、以上の説明でおわかりいただけたかと存じます。

熱源として電気エネルギーを使用するあらゆる方法は、地域的または過渡期的特殊事情のある場合は別として、一般にその原価が高いこと、エネルギー自体の供給量が不足していることなどから大量生産を目標とする操業法からは除去されるべきものであると考えております。電気エネルギー自体は非常に価値のあるエネルギー源で、これは単に鉄鋼業におけるようなカロリーに変えるだけの目的よりはもつと効果的な他の多数の産業分野に使用されるべき種類のものだといえましょう。現在までのところ他の燃料を用いた場合に比較し非常に莫大な量の電気エネルギーを用いた場合にのみ、経済的にたちうちのできる生産原価を得られるのであるが、これは非常に地理的に恵まれた特定の条件の場合にしか成立し得ないのであります。しかしごく近い将来核分裂によるエネルギーの利用が可能になるものと考えられ、この場合には上に述べたような条件を変えてしまうことが考えられます。この場合には条件をかえるというよりは、他の産業活動におけると同様鉄鋼業においても、産業自体の観念をまったく根底から覆えすような大変革が生ずるものと考えられます。

15. 溶銑を作る種々の方法のうちで、低炉法は小さい規模で還元を行なうことのできる唯一の新方法であるといえますが、投資設備費、労賃、経常費などについて高炉法と比較した場合、まだまだくらべ得る段階に達しているとはいえないのであります。

16. 固体またはガス状還元剤を用いた固体状態での還元法では、鉍石中の脈石や不純物がそのまま還元成品中に残存するという一般的な欠点がある。そのうえ、還元反応も 95% 以上には経済的に実施することができず、最終成品中の酸素含量は当然高いままである。脈石の存在に加えてこの酸素含量の高いことから、勿論他にも難点はあるのであるが、焼結法を直接大量生産方式としてとりあげることにははなはだ疑問といわざるを得ないのであります。

したがって直接還元成品は、高炉の高品位装入物として、または製鋼工場で使用しうるきわめて高級な人工ス

クラップとして考えられる程度のものではないのでしょうか。

17. 各種精製法の比較の問題について多少申し上げてみたいと思います。私どもが技術雑誌上にしばしば見受ける各種の精製法の比較、例えば高炉法と別の方法との比較論文をみてみますと、決定的な結論というものが示されていないことがよくあります。これは比較に当つて用いられた各種方法で作られ最終成品が銑鉄と海綿鉄というようにそれぞれ違っているからであります。比較をするためには、同じ鉄鉍石を用い、同じ最終成品を作つた場合、ただ途中の経過だけが異なるというのであれば意味がないのであります。

18. さきに前章で生産効率を増進するための技術的な進歩は管理業務、経済、政治、社会的な各種要因と相関々係にあるという意見を述べたのですが、鉄鋼産業においてはこの相関性は特に強く顕著であるということができると思います。技術的な手段を選択する条件は、技術自体だけでなく他のまったく異なつた分野の条件、要素によつてむしろ決められるものであります。すなわち、財政政策、在庫方策、関税対策、原料の輸送、鉄鉍石会社の利益取得率などこれらの要素全部が逆に技術的な要素に影響を与えることになるのであります。

少なくとも私自身は、倫理上からも科学的見地からも国際協力の効果に絶大の信頼を寄せているということを申し上げたい。このような技術以外の要素の国際協力が行なわれるならばこれらが将来変化、発展していつてもこれらと技術的要素の間にはなんらの矛盾も生じないものと考えております。この方法によれば将来の進歩は間違いなく得られるものと私は考えております。このような国際的な協力手段、それぞれの要素がそれぞれ異なる歴史的経緯から招来される利点を維持しようとするあらゆる国際的な手段、協力はしかし時とともにだんだん非効果的になるものと予測されます。それは徐々にそして誰にも損失を与えない方法で行なわれるか、もしくはいろいろな変動とあらゆる人に重い損失を与える経過を通して推移していくことになるでありましょう。この推移の予測が外れることはまずないものと考えられるのであります。

19. さきに述べた技術自体以外の要素として、臨海製鉄工場、必要な原材料を輸送するための鉍石専用船もこの範ちゆうに属するものであります。

かつて、製鉄工場は石炭または鉍山の近くに位置すべきであるといわれた説明は、現在の輸送力の向上、古い石炭、鉄鉍石資源の枯渇により最早意味のないものになつてしまつたのであります。原材料は今や大洋を横断し

て運ばれる時代になったのですが、この状態はさらに当分続くものと私は考えております。

生産施設、高炉、平炉、電気炉、圧延機などの容量は増大し、これによつて技術上の利点をもたらされるとともに、直接、間接的に生産原価の低減が招来されたのであります。

このような各種設備の規模拡張はすでに、あるいはごく近い将来飽和点に達し、これからの規模拡張は、装置機械についてではなく、製鉄会社自体の規模拡張へと移行するものと予測されます。技術と経済の釣り合い関係を考慮に入れて検討してみますと製鉄工場の集中化については今後なお世界中で相当の変動が生ずるものと考えられます。

20. 鉄鉱石のエンリッチメントについては2つの方法が考えられます。第一は脈石から鉄酸化物の分離を十分行ないうのような破碎作業であり、第二は純物理的または物理—化学的な分離法であります。どのような手段であつてもより効果的な分離をなす方法が出現することが望まれるのであるが、破碎技術は現在すでにまたはほとんど経済的に限界点に達しているように私には考えられます。

規則的な効率のよい操業を行なうためには他のあらゆる手段とともに、装入物の粒度を厳格に指定された範囲におさえることがきわめて必要である。

シンタ材を高率に配合使用することはあらゆる面から考えて非常に良い方法であると思います。将来の改良点はおそらく最適の粒度をもち、機械的強度を増し、技術的に還元性能を高めるようなシンタ材の製造に関係した細かい技術上の諸点にあるのではないのでしょうか。これらは諸種の研究テーマの中ではそんなに大きな懸案事項といえるものではありません。種々の粒度の油、石炭末を混合状あるいは別個に吹きこむことは現在すでに広く使用されている方法であります。吹き込みを最良の状態で行なうための機械的問題が解決された後に残された問題は、熱風温度の上昇または酸素富化によつて、燃料コークスをどれだけ節約できるかという点にあります。この点については、送風気中の酸素富化の一般的観点から本章の終りにもう一度述べてみたいと思います。

いずれにせよ、燃料油の吹き込みが、コークス節減のために大きな前進を示したものであることは広く知られている疑いのない事実であると申せましょう。数年前に Piacenza で開かれたメタンガス利用に関する会議において、私はその吹き込み可能%が現在の使用量よりも将来相当伸びるだろうという推定を発表いたしました。

次に高炉の高圧操業の問題に関しては、その物理、化

学的な根拠は正しいことが認められるのであるが、装置の耐用度、強度に関する技術的難点がまだ残っているように思われる。しかしこれに関し、将来を推定するのに十分な個人的経験と情報を持ち合はせていないため、はつきりしたことは申しあげられない。熱風温度の上昇、熱風炉の有効利用に関しては、この面での最近の進歩は非常に著しいものがあつたと思いますが、今後さらにこれについて相当の進歩を期待することは無理なのではないかと思ひます。

次に冶金用コークスの話しに移りますが、これについて従来一般に用いられていない種類の石炭からのコークス製造については、まだ部分的な進歩が認められるだけですが、コークス化の研究、高炉中のコークスの挙動について現在行なわれている研究は将来必ず役にたつ結果を生むものと考えております。

コークス製造のための石炭乾溜用のコークス処理施設は非常に大規模であり、かつ技術的に異常なほどの段階にまで進歩していることが認められるのでありますが、工学的にみてむしろ危い綱渡りをやつているような感があり、この問題についての設計技術者と現場技術者の受けとりかたに非常な差があるように思われます。コークス炉においては、莫大な熱量が薄い大寸法の耐火壁を横ぎつて伝わり、したがつて大きな周期的、機械的、熱的応力にさらされることとなります。私はこの観点から若い鉄鋼技術者が新しいアイデアを生みだしていくことを期待しております。

しかしこの問題については、適当した計画案が実用試験に耐える段階に達するまではどの方法がよろしいという事は差し控えたいと思ひます。

21. 最後に、高炉操業上重要な問題として見逃すことのできない自動化の点について申しあげることになります。

私は鉄鋼業における自動化の採用、特に製鉄と製鋼の分野における自動化の重要性に関し、CECAの技術研究委員会で提案した最初の間人でありましたが、この提案を行なつた1956年当時、圧延関係の部門ではすでに自動化が採用されていたのであります。

私の提案は、数カ月慎重に検討された結果具体化し、CECAはこの問題について大量の予算の使用を許可したのであります。

この自動化の問題については、それが現在すぐに製鉄、製鋼分野に利用できないものも含めその産業界におよぼす重要性については今更申しあげることないと思ひます。

自動化は非常に急ピッチで進められており、製鋼分野



における主要目的は、労働力の急激な排除にあるのではなく、成品の均質化を改良することにあるといえます。

化学的な性質をもつたあらゆるプロセスにおいては、技術者は自動化を行なうには、必要とされる全部の因子についてその反応に従った数学的モデルを作らねばならないということから、ごく小さい反応についても詳細に研究、検討を行なわねばならず、したがって、このような種類の処理工程においては自動化は間接的に非常に好ましい影響を与えているということができよう。自動化ということから離れて考えても、このような細部について検討をするということは非常な進歩を促すものと考えられる。

製鋼分野においては比較的最近まで、自動化の最初の段階としてまず余り複雑でない操作部分から着手した方がよいのではないかとということが一般的な意見として通用していたように見受けられるのであるが、私はむしろすべての処理法に一律に自動化を行なうべきであるという考えをもつていたのです。事実自動化の具体的推移は全面的経過をたどり、今日ではこの分野における協力関係が国際的に行なわれているほどであります。全面的な自動化という私の考えが、今日ではまだ余計なものだという考えをもたれるかもしれませんが、これについての実際の解答は間もなく得られる時期にきており、もはやどれとどれだけを自動化するなどという選択をすること自体が難しくなってきたのではないかと考える次第であります。

22. 本日お話し申し上げているような内容の問題について、私の意見の根拠について詳しく皆様にご説明申し上げることは時間の関係から許されないので、この点ご了解いただきたいのですが、私が今後の鉄鋼業の進歩について可能だと考えている事柄に関しもう

少しお話ししてみたいと存じます。

さて、コークス用炭の不足は、最近のヨーロッパにおける鉄鋼業が直面した隘路でありました。この難問題は幸いにして国際的な原料の交換、これについての協力によつて解決はいたしましたのですが、コークス節減の問題は鉄鋼生産者にとってなお大きな焦点となっているのであります。これは単に銑鉄の原価を低減させるというた

めだけでなく、コークスの購入条件が楽になるという意義をもつているのであります。さらに私はこの他に、科学的、技術的、経済的な面から考えても高級な石炭からコークスを作るということには首肯しかねるのであります。はるばると海を渡つて送つてきたものを最後に高炉ガスという単価の安い燃料ガスを製造するのに用いていることは船会社の救助事業であるとしか考えられないのであります。

このコークス節減には種々の方法が考えられるのでありますが、私は酸素による送風空気の富化が最も確実な方法であると考えており、これについてはさらに、十分に検討されるべきだと考えております。このようにこの問題は技術的な要素が非常に重要であり、かつ今後に解決を期待される面が多々あることから、酸素富化空気の問題を最後にお話しするようにいたしました次第です。

23. さて、この空気の富化の技術的な問題であります。すでに皆様よくご存知のように、装入されたコークス量の化学的な能力から考えてみますと、その40%もが一酸化炭素と水素として排ガス中に排出されています。このエネルギーは空気の再加熱と圧縮のため、そのごく一部分が熱的に再循環されているにすぎないのであるが、この目的に使うにしても、もつと安い燃料を使つてすまじうること特に高級な石炭を使わねばならない条件がある訳ではないのであります。

一方、排ガス中の高い一酸化炭素含量は還元ガスに相当程度の還元性を保持するという絶対的な必要性から処理されるべきものだと思います。原則的に考えて、一酸化炭素の再循環によ

ることなしに、還元反応に必要とされる化学量論的に最小のコークス消費量まで使用コークスをきりつめることは非常に難しいこととあります。

この一酸化炭素の再循環には、a) 水

蒸気、炭酸ガスの還元生成物を除去するためのガス清浄処理、b) だんだんに含有量が増加し遂には還元反応を停止させてしまう窒素の除去とが必要とされる。したがって、水蒸気と炭酸ガスの除去の完全、不安全にかかわらず、廃ガスの再循環性を得るためには純酸素の使用が必要とされるのであります。

もちろん原則論からすべての問題の解決が導き出され



講演会場風景

訳ではなく、まだ知られていない幾つかの要素が残っています。すなわち純酸素の吹きこみによる非常に高温な局部的酸化層の発生などである。これらのことから、この反応処理の主要問題は、酸素の導入法、再循環ガスならびにコークスガスと同様な目的で用いられる補助燃料油の使用、天然炭化水素、燃料油、粉炭にあると思われる。この中、補助燃料油の添加は、高温層形成の抑制、炉下部からのガス中の一酸化炭素/水素比を良い方向に変化させるなどのいろいろな意味をもつております。

単に一酸化炭素ならびに少量の水蒸気と炭酸ガスのみから成るガスを用いた間接的な還元作用は非常に重要な役割を果し、これにより炉中の温度分布が多少変化してくる。このような変化は炉の操業者にとつて従来の方法では行ない得なかつた種々の制御法を可能にすることになるものと考えてよいでしょう。

この点ですでに明らかになつていく微妙な効果の一つは、鉄の高次の酸化物を  $\text{FeO}$  (ヴェスタイト) に還元することが比較的容易となり、實際上ガス中の一酸化炭素、水素含量が低くても完全に実施することができることです。

こう考えてみると、再循環ガスは最終還元層から引き出した方が有利で、鉍石の予熱、予備還元は空気中の酸素を用いて完全に燃焼させた低級な燃料油で行なえばよいように考えられます。

このような方法を実施するための装置は次の 2 部分からなつている。安価な燃料を用いた予熱、予備還元用炉。鉍石はこの炉中で約  $1000^{\circ}\text{C}$  に予熱され、酸化カルシウムにすでに変化された石灰石と一諸にして予備還元を行ない、ついで還元炉に送られる。この処理に必要なコークスは還元炉に装入する際に導入されるが、このコークスは再循環ガスとの熱交換によつて予熱をしておく。

予熱、予備還元用の装置としては、シャフト炉、コンベヤ炉または回転炉の使用が考えられるが私は、後の還元炉で熔融状態で還元するのが一番よいことを考えると、シャフト炉が一番適していると考えております。

したがつて本還元を行なうべき炉は、高度に予備還元された材料、ガスの再循環、純酸素吹きこみなどの条件を備えた低シャフト炉式がよいと思います。

このような条件を備えた炉の構造、操業法は、高炉または常用されていない幾つかの実験用炉と類似したものとなります。この場合未知の因子は、酸素、再循環ガスの吹き込み、予備還元された材料の熔融状態での最終還元作用への移行などでありませぬ。

コークス消費量は、他の燃料の吹き込み利用を勘案し

大幅に低減することができると思われるが、最終還元処理の終期に使用される酸素量もコークス消費量の減少をうちけすような効果はないと考えます。

この種の還元炉の炉高が低くてすむことは、高炉のような炉高の大きな炉に装入する場合にくらべて、コークスの機械的強度はずつと低くてよいので、この点からもこの種の炉の使用は有利であると思われる。

ここでお話ししているような全く個人的な見解においては、これ以上この方法の可能性の見通しについて論評することは当を得たことではないと思います。ただ私の意見としては、このような新しい還元処理法は従来の方法に比し急激な変化をもたらすものであり、したがつて試験段階における操業において当然避けられない危険性を広範囲に分担研究するために国際的にできるだけ広い基盤にたつて理論的、実験的な研究を行なうことがよいのではないかと考えています。このような手段をとることによつて各種の改良などの利点をもたらされるものと思つております。

24. 最近 20 年間における製鉄業の最も著しい進歩は、原料の精錬操作における熱的、化学的両面よりみた酸素使用の効果であることは誰も疑うものはないでしょう。

私個人の考えとしては、鉄鋼の大量生産の発展という面からみると、近い将来には操業法自体に基本的な変化があるとは考えられませんが、生産技術に関連のあるあらゆる面にをける細部の改良が相当に行なわれていくだろうと見ております。

将来の鉄鋼生産に介入してくるに違いない大きな問題は、廉価で無尽蔵な新しいエネルギーすなわち原子核エネルギーの使用により得られる広汎な利益でありませぬ。

また現在すでに明らかになつていくように、連続鑄造は溶鋼の圧延成品に対する歩留りの改良についてますます重要性をましてきている。ストリップミルも今後ますます使用度が増加し、各種の成品別に専用機械化するものと考えられる。

自動化の度合はさらに増加し、将来小さな規模の工場間の競争はだんだん減少していくものとみております。

25. 結論として、最後に品質の点よりみた大量生産についての意見を述べてみたいと思います。

還元、製鋼、圧延、特に自動化の促進など各分野における改良はすべて成品の均質性の向上をもたらすこととなります。

しかし他方、鉄鉍石、スクラップ中の不純物という二



つの問題があり、これを除くには成品コストに相当の影響を与える程度の費用をかけなければ容易に行ない得ないことはすでによく知られている通りであります。最も有意義な進歩は、実際に使用するのに必要な品質と生産材のコストの間に最適条件をみつけるため、製造者と使用者間に生じた協調の気運の増加ではないかと思えます。この面で現在の研究者に課された問題は、ある単一目的に使用される成品に実際に必要とされる品質を定量的に決定するという厳密な分析検討であります。このことは非常に重要なことで、鉄鋼に関係している者は、従来往々にして余計で、必要のない高級な品質を求める傾向があり、これは単に大きな経済的浪費を生ずるにすぎないのであります。

品質の検査、それに必要な測定法については以下第2章に述べることにいたします。

### 高品位鋼の製造

26. 高品位の炭素鋼、合金鋼の工学面における使用は近年非常に増加してきております。これらの材料の生産原価におよぼす品質についての間断ない改良による経費増の影響は大して問題にならないといえることができると思います。

われわれの経験では、量産鋼と高品位鋼の境界線についてはつきりした定義はまだないように思えます。これに対し鋼種の面からみると、単にブリネル硬さが幾らあればよいというものから、種々の物理、化学的性質について保証された品質をもつ鋼まで無数の種類が存在しております。

私がここで高品位鋼について述べます内容は、主として高級な諸性質をもつた鋼を対象として考えてみたいと思います。

27. 種々の性能についての高度な検査基準の採用にくわえて、成品の受け入れ検査は成るべくバラツキの少ない材料を求める傾向になつてきております。換言すれば、より高度の均質性もしくは性質を示す材料を選ぶようになってきていると申し上げることができましょう。

品質ということは、現在までの発展過程の段階においては、合金要素の効果をもとにした特殊鋼の品質ということとほとんど同じ意味をもつていたといえますが、今日においては、この概念は二つの異なる要求に応じそれぞれ異なつた意義をもつものと解釈されます。すなわち、その一つは、各種性質の均一性であり、他は合金元素によつて生じた特殊の性質であります。

28. 鋼の均質性を示す検査値のバラツキが、圧延、熱処理あるいは機械加工の失敗によつて非常に大きすぎたり

または小さすぎたりするようになることはほとんど考えられないのであります。製鋼技術者、とくに金属組織に従事しているものにとつて、大きなバラツキの主因、特に多結晶組織材の弾、塑性変形に関する大きなバラツキの要因が、いわゆる不純物の存在にあることはすでに自明の理であります。これらの不純物は鉄鉱石、コークス、溶剤中から鋼中に、銑鉄、溶融スクラップなどを介して混入され、あるいは製鋼炉中における精錬作業でも多少は侵入することがあります。

29. 今、鋼が2種の元素、つまり鉄と炭素のみからなつており、しかも溶融から凝固状態にいたる過程で偏析炭素の拡散を確保するのに十分な熱量が与えられていたものとした場合、この鋼の初期組織を常温で認めることは不可能であり、単にパーライト-フェライト粒の組織を観察できるだけで、一方フェライト粒の粒界は、相隣る粒子の結晶構造の間の中間遷移的な位置として、単にFe原子のみから構成されていなければならないこととなります。今では、このような純粋な材料は単なる仮定にすぎないことはよく知られているとおりであります。

実際には、鋼中には無数の少量あるいは微量の不純物が常時存在しており、その大部分は固溶状となっておりますが、これらのうち量的に決定できる元素は幾らもないのであります。これらの元素は一般に普通の製鋼熱処理操作では事実上動き得ないような大きな原子量をもつており、ほとんどその位置から移動することがないため、凝固時の結晶組織がそのまま存続するようになるのであります。

この種の異方性の原因として、鋼材内部または外部から発生、または導入される恐れのあるすべての非金属元素についても言及せねばなりません。炭素のほかにも容易に移動しうる不純物は水素だけであるが、この効果についてはすでによく知られている通りであります。

インゴットの初期の不均質性の相対的変動は、塑性加工の効果のうえで異方性を生ずる原因になつており、これによつて、各種の方向に各種の歪みをうけた材料は機械的性質、特に動的な機械的性質について著しい異方性を示すこととなります。

各種性能におよぼす幾つかの不純物の影響に関する信頼しうる報告や、固溶状態について一般に知られている事項から考えてみると、少量の不純物が非常に大きな影響をもつてることが確認される。異方性係数、特に動的性能における異方性係数は、製鋼技術者に対しては純粋に材質に関連した指針を、使用者にとつてはその鋼材の品質を示す指標を与えるものであります。

高度の非方向性の均質な性能を要求される高級な構造

用材に対する最も手つとり早い保証法は、できる限り含有不純物量を減少させることにあると思います。

一方、有害な不純物の影響に比較し、Mn, Si, Al のように精錬過程で逆に加えられる元素の効果についても考慮する必要があります。

固溶体に関する物理的な最近の研究方法の進歩によつて、これらの不均質性はだんだんと解明されてきたのでありますが、しかしまだ今日のところまったく完全であるといえないことはもちろんであります。

このような最近の物理的研究手段の中で、鉄合金のカラーメタログラフィー法がその進歩によつて非常に簡単な手段で極く局部的な物理、化学的異方性の状態を検出することができるようになってきたのであります。最近の研究の結果はサブ・ストラクチャーつまり一般的にいって不均質性に対する適用性を示しており、従来の顕微鏡組織観察ではごくわずかの事項しかわからなかつたのに対して非常な有用性が認められたのであります。

この新しい方法は鉄合金の磁氣的組織、中でも材料内部の磁氣的組織の関数として試料表面のマイクロな磁場を簡単に表現することができます（ビッター・フィギュア）。最近の一連の予備的実験の結果からみると、各種元素がこのビッター・フィギュアの形や大きさにおよぼす影響について手がかりが得られるのではないかと考えられます。

以上要約して申しあげられることは、品質を将来さらに改良するためには、できる限り鋼中の不純物を除去することが必要であると申せましょう。

30. スクラップの再使用による鋼の汚れの増加を系統的に検査せねばならぬこと、精錬過程においてこれら不純物の大半を除去し得ないことから、今後、高品位鋼を生産するに当つては、量産鋼とは異なつた性能をもつたものを作り出すように初めから計画をすること、特にスクラップを使用せず、十分その処理過程を管理して作った鉄鉱石と燃料によつてできた銑鉄を使うことが高品位鋼を作る唯一の可能な方法であるということができましよう。

しかし鋼の精錬工程で除去し得ないこれらの不純物が入っていない鉄鉱石、コークス、溶剤から銑鉄を作るということは非常に高価で、しかも不確定な作業だということ実は事実であります。もう大分前から高品位鋼を作るうえに、なるべく最初の処理材料のうちから鉄中不純物を減少しうる可能性のある方法の実現について私は考えていたのですが、これについて得られた現在までの考えについて述べることにいたします。

まず固体の清浄処理は鉄鉱石、金属 Fe ともその処理

が非常にむづかしく、液体状の清浄処理も化学的、物理的な限度があることからともに考慮の枠外におくこととすると、自然ある種の鉄化合物、クロライド、カーボニールと、ともになりに低温までガス状を呈する化合物に興味をもつようになったのであります。このうちクロライドについては塩素と同様非常に反応性が強いことなどから除去して、鉄-カーボニールの形成、分解の条件について詳細な再検討を技術的な面と同時に経済的な面についても行ないました。この化合物の生成はかなり前から分つており、また非常に選択性が強いことも知られている通りです。鉄中に存在する各種元素の中ではニッケルだけが鉄と異なつた温度でカーボニールの形成分解を行なうのであります。他方、直接還元法に答えるため最近試みられた方法から、大部分の鉄鉱石は約500°Cの低温で流動床に 20 kg/cm<sup>2</sup> の気圧の水素を吹きこむことによつて比較的容易に還元されることが明らかとなつた。これによる還元率は 90~95% で還元処理はなんら難かしいことがなく、その原価も工業的製造法として十分考えられる価である。

しかし不幸にしてこの方法で求められた金属 Fe は脈石の不純物を全部含有して、水素処理によりこれらの不純物を除去することはできない。このような不純物は最初の鉄鉱石中にすでに含まれており、したがつてかりにごく純粋な鉄鉱石を素材に用いたとしても、直接焼結用として用いることは難かしいと考えます。金属 Fe は再溶解されねばなりません、それでも鉄鉱石に含まれるあらゆる不純物はそのまま残存することとなります。一方このようにして還元された鉄は自然着火性が強く、その取り扱いが危険を伴うのでこの材料を輸送、貯蔵した場合には還元雰囲気中でむづかしい造塊作業を行なうことが必要とされる。したがつて、コスト、品質いずれの面からも商業上たうちできるものとは考えられません。

この発火性は海綿鉄においても同様欠点ということができよう。しかし海綿鉄はフェロペンタカーボニールの形成の点ではきわめて優れた材料であるといえましよう。金属 Fe の核がある場合には、フェロカーボニールの分解によつて直接非発火性材料を生ずることができます。

さきに述べたような種類の方法を用いれば、特に純度を必要としない。例えば硫酸滓のような鉱石から出発してスペクトル分析上純鉄といえるものを作りあげることが原則的に可能であることはすでに自明の理である。

もちろんこのような方法においてもまだ不明な点は幾つかあるのであるが、ただそのとりあえずの目的が高品位の成品を得るための焼結用ならびに真空再溶解用の純

鉄を作ることにある限りにおいては、ほとんど異方性のない状態の鋼を作ることにについて一歩前進したものと認めることができ、このような鋼は他の方法で得ることはできず、したがってこれと競合するような方法はありません。したがってこの方法は明らかに高品位鋼を作るために一線を画したものであるということができましよう。

他面、この種の方法のごとく 500°C 近辺で処理されるものは典型的な鉄鋼工場とはいえ、むしろ化学工業の設備と見做すように考えられる。反応は金属製容器中で行なわれ、熱交換、断熱の効果はきわめて高いのであるが、この技術についてはすでに一般によく知られているとおりであります。

## 結 言

31. ほとんどの製鉄関係の技術者、科学者は製造法ならびに成品について考えるとき、それが経済的、社会的な基本的問題の上にあるにかかわらず、純技術的現象として取り扱い判断しております。したがってある特殊の場合には一方的あるいは部分的な命題を支持することによつても十分正しい結果の得られることがあるのですが、これは時には技術的な命題よりもさらに大きな課題、すなわち経済的、社会的、心理的な主要目的からまったく相反するような結果を得ることになることもあります。

したがって製鉄技術者としては、技術的問題と相互に影響をおよぼしあう経済的、社会的、人間的な因子の原理について熟慮することが望まれる訳で、これらの各種の因子は往々にして最もよい技術的發展の最適条件を生み出す重要な原因となるのであります。製鉄技術者はその知識を、少なくともその理解をこれらの分野についても広げることが必要で、このような理解のもとになされた提案あるいは選択は必ずしも経済、社会、心理的な面からみても正しいに違いないからであります。

技術者にとつて、経済あるいは人間の心理についての科学の重点を吸収することは、技術的發展に必要とされるこれらの条件に対し正しい判断をもつ上からいつて、それほど難しいことではないと思われまふ。

32. 鉄鋼業がなにを選ぶかということの影響力の大きなことから考えて、製鉄業界としては、その周囲の産業界の経済的な発展ならびに全世界の経済的な発展の一部をになつていふことを考え、調和を伴うことに常に努力しなければならない。選択上の大きな誤りは、科学、技術の調和のとれた発展自体と生産に結びついた人々を脅威にさらす非常な危険を招来することになります。この

ような選択を行なうには、高度の指導層の人々の自主的な行動力が必要とされ、この行動力によつて多数の細部におよぶ改良進歩が行なわれることにより、全体として規模の大きい、かつ不断の進歩が招来されることになると思っております。

33. 鉄鋼業における生産性の増大は、全世界にわたる絶えまない優れた実験、経験の迅速な進歩によつて得られるのであります。この点世界的な規模の特別な情報組織は、この迅速な発展の有効な武器となるものと考えております。

34. 専門に研究に従事していない分野の人々の生産面についての建設的なアイデアは、非常に重要であつてこれを低く評価したりあるいは逆に過大視すべきものではないと考えております。

35. 基礎研究、または応用研究と称されるものは最良の新アイデアのもとになるものだと考えるべきではありませんが、新しいアイデアを実験し、評価し、系統的に発展させて行くうにに適した武器であると考えてべきであります。新しいアイデアとはそれが誰によつて提案されたものであつても、科学、技術の全分野における最も進んだ知識を利用し役にたてる役目をもつていふものと考えてべきではないでしょうか。

応用研究と称されるものも科学に対すると同様に、経済、心理的な現実に強く密着して考えらるべきものだと思います。

このような考え方、特に哲学的な思考から出発すれば新らしく提案されたり現場の必要から生じた無数の改良案に対し必要な系統的实验や研究を進めて行く場合、他の分野となら矛盾することなく実施することができるものと考えております。この種の研究活動を私は慣例的研究と呼んでおりますが、これは上記の種々の新しいアイデアを検討、発展するための研究であり、これは単調な繰返し動作に反撥するノーマルな人間の活動により初めて生ずるものであります。

この種の大量な研究活動は、その実験費用が生産工場の費用にまではおよばないまでも実験工場的な規模までは必要とされることがしばしばあります。これについてはできるだけ国際的な協同を強力に推進することが望まれるのであります。

36. 多少皮肉めいたいい方をすると、多くの古い産業の指導者や工場経営者は、新しいアイデアは豊かな商品であるということを知つております。この言葉は間違つていふかも知れないがしかし同時に真実の一面をもつていふと考えます。よく知られている事柄によく似たごく簡単な新しいアイデアが、沢山の人のよりちよいち

よい生れてきているということは事実であります。また一方新しい非常に進歩したアイデア、普通の考えからはかけ離れたようなアイデアは、あまり凝りすぎてそうちよいちよいは出てこないものであります。言葉をかえていえば、いつでもわれわれの側に何時もこわれるボルトに代つてもつと大きなボルトをつけてやろうというアイデアをもった技術者がいるだろうと考えることは容易にできるのであります。万有引力や相対性原理、核エネルギー遊離の最終段、さらには現在の製鉄技術についていえば、空気中の酸素を利用した銑鉄の精錬を行なうというようなアイデアをもった技術者を毎日求めることは不可能なのであります。

哲学的に考えてみた場合、実施する価値のある主要な研究については大いにこれをもりあげて行くべきだと思います。われわれは常に同一業種の工業界内の協力機構の設立を等閑視してはならず、この設立によつてアイデアと実験の合流が得られ、次のような効果的な結果がもたらされるものと考えられます。第一は自主的な活動の気運を作り、これによつて顕著な利益、あるいは少なくとも積極的な雰囲気と機会を作ることができることで、第二は技術者達の会合によつて個々人の知識水準が高まることは疑いない事実で、これによつて知識水準が系統的に改善され新しいアイデアが生みだされる機会を与えることになるからです。

これについて最も適合した条件は、その分野あるいは問題について最大限可能な能力権限を集中して行なうことで、したがつてこの場合国際的な規模で行なうことが最も有利であると思います。

科学、技術の諸種の分野、特に鉄鋼業ではこのような方向に進展しているように考えられます。一般的な問題についての会合、つまり横の関係の会合は縦の関係のある限定された主題についての会合にと変化しつつあるといえましょう。

37. 技術的観点からすると、明日の製鉄業の進歩を約束するための主要点は、次の事項ではないかと私は考えております。第一は従来使用されてきている高炉法についてその妥当性をより深く探究することであり、第二は生産性を増加し均一な成品を得るためという原則にたつて製鉄、製鋼操業の全面にわたつた自動化の応用を行なうことであります。

38. 一方、すべての人が待ちのぞんでいる新しい安価なエネルギー源として、最も今後進歩すると考えられる確実な方法は、純酸素の使用、粉炭、油、天然ガス、コークスガスのような他種燃料の噴射を件なつた再循環廃ガスの使用などであると私はみております。

この場合には、もちろん工場施設は相当の変更が行なわれることになると思います。

39. 最後に高品位鋼について最も確実な進歩を得られる方法として、私は鉄カーボニルの形成を生ずる鉄鉱石の低温における直接還元、ならびにこの鉄カーボニルからの純鉄薄粒の解離法が一番可能性があるように考えています。

本論文の翻訳にご協力いただいた金属材料技術研究所舟久保熙康技官ならびに八幡製鉄株式会社に厚く感謝いたします。