

UDC 620.1-52 : 669.14.019

解 説

鉄鋼業における材料試験工程の自動化*

(その合理化をめぐる問題)

白 浜 浩**

The Automation of Mechanical Property Testings in Steel Industry
(Problems in Carrying Out Its Application and Practice)

Hiroschi SHIRAHAMA

1. 緒 言

近年、製鉄所における各種検査業務は、省力化を目的とする設備的な改善に支えられ、やや近代化の速度を早めてきた。しかし原料の受入れ検査、あるいは材料の出荷検査など、大きなウェイトを占める検査についてみれば取引の尺度としての観点から、当然、規格・基準類による検査方法の拘束の範囲内での設備改善にとどまり、検査方法そのものの変更は、次元の異なる問題であつて容易には対処し難く、これが依然として、検査の抜本的合理化の上での大きなネックとなつている。

筆者は、さきに西山記念技術講座に機会を得て、実例の紹介を混えながら検査の自動化と製造の自動化の相異点を整理し、また、検査の自動化の限界について述べたが¹⁾、その後鉄鋼共同研究会品質管理部会でも管理の効率向上の一環として材料試験問題を取り上げた小委員会活動が始まるなどの動きもあり²⁾、また、活発な市況に支えられて検査の合理化も促進されるきざしがあつた。しかし、近來の不況下では省力化投資も鈍り、全般的にみてより厳格化しつつある規格の動向をあわせ考えると、単なる自動化指向では解決困難な幾多の問題点が今更のように痛感される。

本解説においては、鉄鋼業における各種の検査の合理化動向を探りながら、主として材料試験に焦点をしぼつて、最近の自動化水準を紹介し、あわせて設備の自動化と材料試験規格の改善の両側面から、その合理化の方向を考察したいと考える。

2. 製鉄業における検査工程の特質

製鉄工程における検査は、外観検査や非破壊による内部欠陥検査の一部を除いて一般に全数検査の形をとり難く、したがつて母集団から採取された供試材に対するい

わゆる抜取検査である。

輸入鉄鉱石の検査・溶鋼の分析あるいは圧延成品の材料試験はすべてラボラトリーテストのかたちで行なわれるが、試験測定の前準備として、採取試料の様々な加工・粉碎、切削加工などが必要である。したがつて母集団から、試料を採取してから試験結果が判明するまでには数分から数日を要し、常に工程に対しておくれを生じている。表1には代表的な試験・分析のいくつかについて、その所要時間を示す。

すなわち、次工程への進行が、検査の結果を待つて行なわれたり（出鋼の分析待ち、成品出荷の機械試験待ちなど）検査速度が生産速度よりもおそいため、検査のためのバイパスを設けたりするなど（厚板の超音波探傷など）の措置がとられている。

したがつて検査の将来像は、工程における直接分析や走査連続材質測定、といったオンライン検査であるが、その開発は多難なものを思わせる。

通常の成品分析では、求める測定値が成分百分率であり、測定のプロセスに拘束されないので、分析原理の転換、すなわち、溶液化学反応からスペクトログラフィーへの転換によつて、5~30倍にも及ぶ分析時間短縮がはかられ、これが省力化効果に直結した。更に試料採取を省略し、溶鋼・鋼材の直接分析に将来を期待したい。また、非破壊検査では応答速度の早い超音波・電磁波などを媒体とするため、本格的なオンライン化が進んでいる。

一方とくに材料試験では原理転換によつて自動化を推進することが事実上困難で、旧來の試験方法そのままの工程・手順を機械化しなければならない点に基本的な特質がある。その外に材料試験には、

- (1) 試験片寸法、形状の多種多様さ。
- (2) 加工手段の制限（素材の特性保存）。

* 昭和 52 年 10 月 28 日受付 (Received Oct. 28, 1977) (依頼解説)

** 新日本製鉄(株)君津製鉄所、本社中国協力本部兼務 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

表 1. 分析および材料試験に必要な時間

項 目	工 程	試 験 内 容	試 験 方 法 又は準拠規格	サンプリングから結果判 明迄の所要時間 (h)
分 析	製 銑 製 鋼 厚 板	銑鉄中の 5 元素 溶鋼中の 5 元素 成品の 5 元素 成品中の酸化物系介在物	発光分光分析 同上 同上 溶素メタノール法	平 均 0.1 0.1 4.2* 17.5*
材料試験	厚 板 冷 延	引 張 試 験 衝 撃 試 験 曲 げ 試 験 高 温 引 張 組 織 試 験 引 張 試 験 エリクセン試験 硬 度 試 験	JIS Z 2241 Z 2242 Z 2248 G 0567 G 0551 (AGS) G 0552 (FGS) Z 2241 Z 2247 Z 2245	最小 最大 12 ~ 72 16 ~ 96 8 ~ 72 72 ~ 120 24 ~ 144 12 ~ 24 10 ~ 24 10 ~ 36

* うち、4 h は、サンプリングから、分析室への試験到着までに要する時間。

(3) 定量測定と官能検査の双方によつて成り立つ試験が多いこと。

(4) 個々の試験片ごとに、つねに識別記号との対応をとりながら、加工、試験測定 of 工程管理ならびにデータ処理を行う必要があること。

など、自動化推進の面での障害が大きいが、これらの具体的内容については、自動化例紹介の中で触れることとしたい。

このような事情を反映して、材料試験の合理化は鋼材生産性の飛躍的な上昇に比較し、図 1 に示すように、著しいおくれを示していた。

なお、表 2²⁾には、製鉄所において実施されている主な試験について、その項目ならびに処理数量の統計例を紹介した。

3. 材料試験の自動化の現状

我が国鉄鋼業では、従来主に厚板試験を中心に自動化が進められて来たが、その主な動機は、新設厚板ミルにおいて、全体生産システムと機械試験との均衡をはかること、あるいは新設製鉄所の深刻な人手不足に対応することにあつた。すなわち、より全体的な制約条件から生れたもので、時として機械試験工程単独の合理化の採算を超えることもあつた。単に採算面からみる限り、当分野の合理化は必ずしも優先性を主張できない面が多い点を考慮すれば、貴重な背景であつたといえよう。

さらに、材料試験は、サンプリング以降測定値算出までかなりの道程を経るので、部分的な自動化では効果が上がり、眼にみえる効果を期待するためには、素材の搬送、アウトプットデータの受入システムの変更に至るほとんどの工程を多かれ少かれ変更する必要に迫られた。その結果、設備間をつなぐシステムが複雑かつ高度化し、更に前述のような単体自動機器のコストアップ要因も加わり、必ずしも投資効率の面で満足すべき現状に

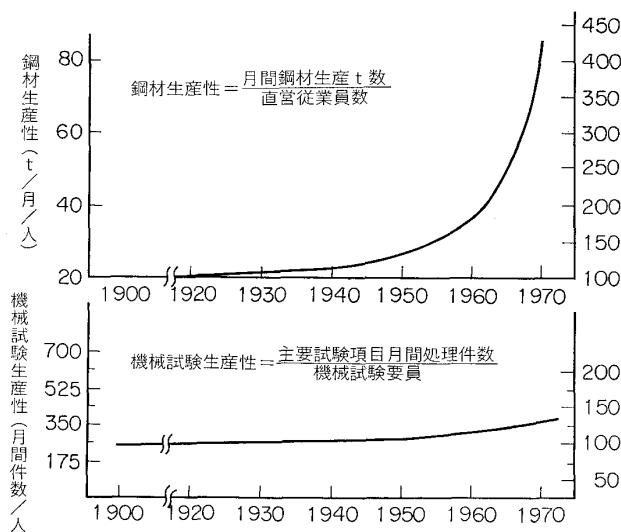


図 1 鋼材生産性と材料試験の生産性

あるとはいえない。

また、昭和 48 年以降、かなりの自動化が推進されたにもかかわらず前述の実態調査によれば、全事業所を総合した過去 3 年間における試験の生産性の伸びは、全事業所を総合して年平均 1.5%、又、大型一貫製鉄所で年平均 3% の上昇にとどまり、過去 10 年間の鋼材生産性の伸び、年間平均 16% には対比すべくもない。

以下、材料試験の各工程における自動化の主要な経過と現行の水準について、例をあげてその概要を説明する。

3.1 試験片の搬送

材料試験作業中の試験片の搬送は、単なる物の移動ではなく、移動の都度の試料確認(履歴、試験内容などの照合)と緩急度に応じた仕分けを伴う業務である。

試料の 1 つ 1 つが、それぞれの履歴と目的を異にするため、試験を円滑に運ぶためには目的、緩急度に応じた交通整理を行なう必要があり、それなりの人手を要する。

多くの製鉄所では、生産ラインで粗切断した素材を一

表 2 小委員会参加事業所*の品種別月当り平均試験数量合計**

項 目 品 種	引 張	硬 さ	曲 げ	衝 撃	Er C _{CV} r 値	計	%
厚 板	86 427	—	28 906	52 133	—	167 466	31
熱 延	47 918	—	18 540	3 270	—	69 728	13
棒鋼, 型钢, 鋼矢板	27 953	—	4 464	3 564	—	35 981	7
大 径	9 085	—	3 980	8 924	—	21 989	4
中 小 径	8 659	—	1 370	—	—	10 029	2
シームレス管	8 002	—	2 605	—	—	10 607	2
冷 延	62 639	44 376	—	—	64 773	171 788	32
表 面 処 理	13 557	37 859	—	—	—	51 416	9
計	264 240	82 235	59 865	67 891	64 773	539 004	
%	49	15	11	13	12		100

* 大手鉄鋼メーカー 10 社の全事業所の小委員会加入率は約 90%.

** 昭和 51 年 4 月~52 年 2 月の平均

括して試験室へ車輛輸送を行なうのが一般的であるが厚板についてコンベアによる連続搬入を採用している製鉄所もある。

コンベア方式の利点は試料が展開した状態で到着するので、試験材ごとの加工、試験内容指示票との照合が容易な点にある。

搬送パスが比較的長く、しかも頻度の多い、例えば粗切断～加工、加工～試験装置間の搬送に高周波誘導路方式の無人運搬車が用いられており、ステーションでの積み降ろしの自動機構を組み込んだものも稼動している。

加工途上で頻繁に行われる工作機械間の試験片受け渡しは、ほとんど人手にたよっている。また積み上げられた試験材や中間加工品の中から、緊急試験を要求された試料を抽出するための、いわゆる板ぐり、方向転換などの人手作業が、現在でも随所に見られる。

このような作業には、通常のプログラム式ロボットの適用では対処できず、むしろ、労力を軽減するための力拡大型、もしくは人の動きにならつて動作するロボットの効果的な利用が待たれるところである。

最近、ワークを高圧空気で浮上させた状態に保ち、僅かな人力で重量物を移動させる搬送プレート、あるいは重錘でバランスさせたバキュームもしくはマグネットアームで吊下移動させる小型搬送機器も取り入れられている。

3.2 試験材の切断

試験材から、各種試験片用の素材を切り出す粗切断作業は労力比重が大きく、厚板試験関係要員の 30% を占めるケースもある。

材質に影響を及ぼすような切断は、たとえ高速であつ

ても採用できない。

プラズマ超合金バイトによるフライスカットも試みられたが、前者は切断面形状が悪いため後工程の切削加工に負荷がかかり、また後者はバイトの寿命が短い、などの難点があつて、結局ガス切断に落着いている。

しかし、ガス切断では約 5 mm 程度の組織変化(板厚 20 mm の普通鋼)はさけられず、切断面の切削仕上げを必要とする。そこで、切削しろを少なくして加工能率を上げることを目的に、水冷を併用したガス切断も行われている。

ガス切断作業では、通常、複数箇のトーチを平行使用して数種類の試験片を同時に切り出すが、素材が重い上、規格ごとに異なる試験片寸法にトーチ間隔を設定したり、板厚に応じてフレームを調整したりするため、作業者は切断機にはりつけの状態になる。処理数量の多い製鉄所では、複数の設備を交替作業で処理するため多くの要員を必要とする。

トーチの遠隔設定機構をそなえた複数の切断機に、素材供給、各試験向の切断試片の分類とり出し装置などを組込んだ連続自動化システムも採用されつつある。図 2 に、最近稼動を開始した、現状では最大の規模の自動ガス切断ラインの全体レイアウトを示す⁴⁾。

メタルソーによる鋸断には、切断効率と維持費の関係から、主に帯鋸が使用されている。鋸盤でのパターン切断のサイクル自動化(自動装置決め、クランプ切断試片のとり出し)は可能であるが、切断パターンが非常に多いことなどからあまり普及していない。

薄板の試験片採取にプレス打抜きを行い、切断工程を短縮する試みもあつた。しかし、試験目的によつて、試

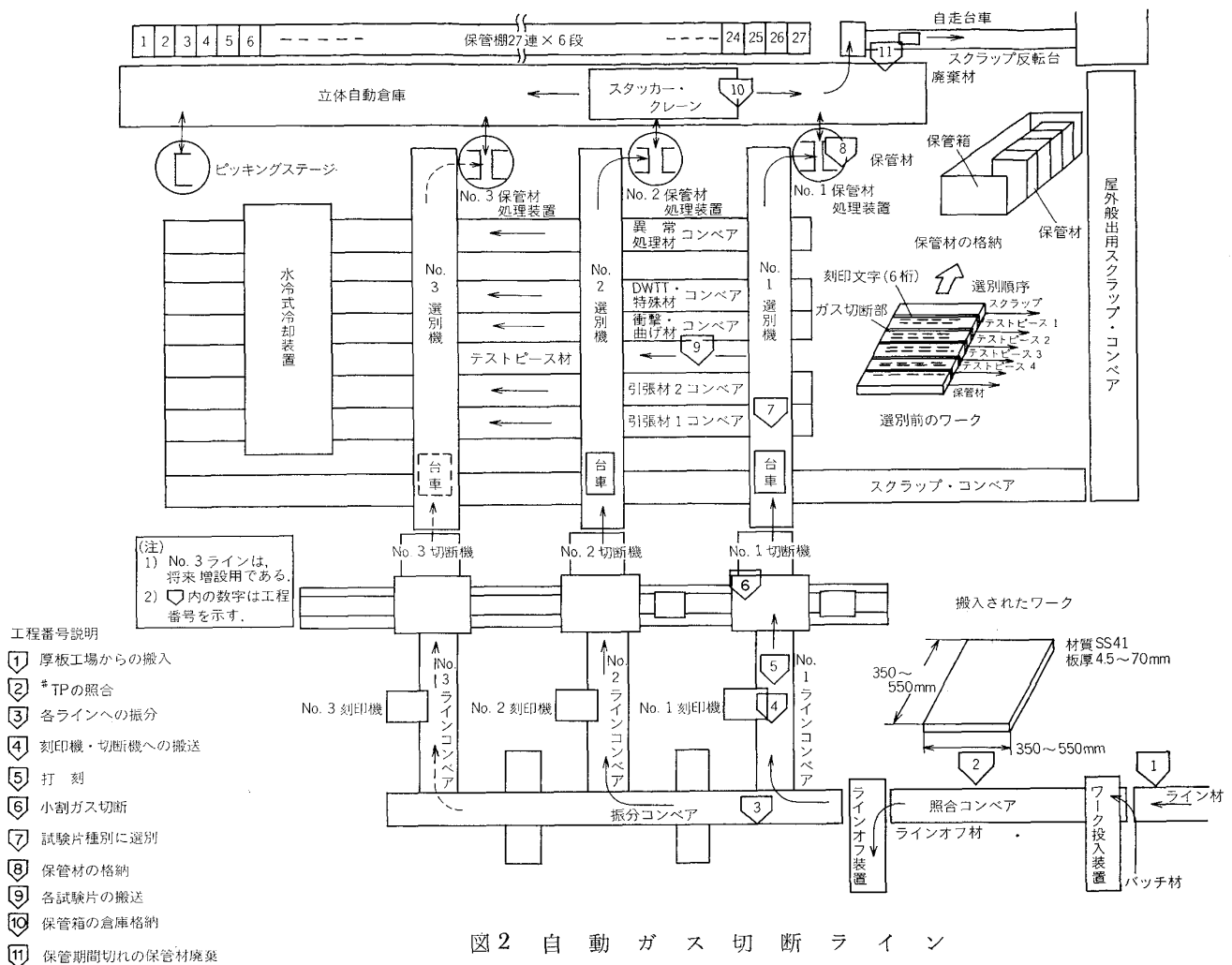


図2 自動ガス切断ライン

料採取位置が複雑に異なるため、プレス装入前の素材の寸法が必要なこと、プレスによる端面の加工硬化部除去のための切削を省略できないこと、などからあまりメリットが得られず、普及するには至っていない。

3.3 試験片の加工

試験片加工工程には、シェーパー、平面研磨盤、グライNDERといった、簡単な構造の工作機械が使用されていた。これらには汎用性があり、安価な設備費で多種多様な工作ができるが、ワークの取付取外し、位置ぎめなどに多大の人手を要することから、最近では比較的高級な工作機械類が導入されている。

3.3.1 両頭フライス

厚板の、引張り、および曲げ試験片では、まずガス切断による熱影響部分が平面研削除去される。引張試験片の平行部は、現在では堅フライスによる切削が一般的であるが、試料数がまとまれば、両頭フライスにより、左右からの同時切削を効率的に行うことができる。

また、両頭フライスは、構造上、素材の位置ぎめが比較的容易なので、労力を要する素材の供給、取り出しとこれに伴うバース動作や切削運転などをサイクル全自動

にした装置も稼動している。

一方、両頭フライスではカッターの交換が困難なので、特定規格の試験片に専用機化すると、稼働率が低くなりかねない欠点もある。

NCフライスの利用も考えられたことがあつたが、両頭フライスのように10~20枚の素材を一括して切削できず、効率が悪いので使用されていない。したがって、カッターの自動交換ができるような両頭フライスが開発されれば、非常に有効であろう。

3.3.2 トランスファーマシン

衝撃試験片加工は、工程数が多く、それなりに最も合理化を期待される場所であり、昭和42年頃、初めてトランスファーマシンが導入された。その装置構成は既に詳述したところであり¹⁾、試験片加工にはじめて本格的な自動化が導入された緒となつたが、現在、実稼動中の装置は12ステーションのもの2基にとどまっている。普及しにくい主な理由は、複雑、大規模化した装置に対し自動化の採算性の面からトラブル、とくに素材の表面に残ったイバリ、あるいは切断粉に起因する搬送トラブルに対する防護策を必ずしも十分にとり得ないこと、保

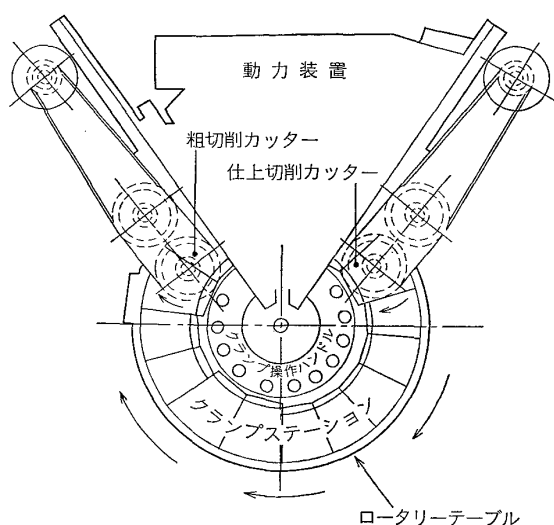


図3 ロータリーフライス

全に費す労力が大きいこと、などによるものであつた。

自動化設備では、ただ1カ所の故障で全体機能が停止する。とくにトランスフェーマシンのように、システムを構成する工作機械が増加するほど、すなわち、1つのシステムに多くの機能を期待するほど、ただ1カ所の故障の全体機能に及ぼす影響もまた増大する。これは、材料試験の自動化上、十分に留意すべきことであり、設計段階で、可能な限り実際の素材を使用する実験によつて機構選定に万全を期すことが望ましい。

3.3.3 ロータリーフライス

短時間に大量の衝撃試験片を製作する場合に、工程中最も重切削となる減厚工程を処理するのに、ロータリーフライス (図3) が用いられている。緩かに回転するテーブル上の素材を、2つのヘッドによつて順次切削しながら、位置決め用の治具を人手で交換することによつて素材に対する試験材の採取位置を自由に変更できる。試験片製作では、最も長時間を要する工程を集中的に自動化した方が効果が上がる場合があり、ロータリーフライスの利用はその一策であろう。

3.3.4 三分割切断フライス

図4は、専用に設計されたフライスで、ストックボックスから素材を供給された回転テーブルが、 120° 移動して分割ステーションにいつたん停止、回転カッターが前進して三分割が終ると、更に 120° 移動して、1素材から採取した試験片3本1組ごとに別々の収納ボックスに取り出す。本機は、素材供給時以外は自動連続運転される。

ロータリーフライス、三分割フライスともに、構成が比較的単純なため、搬送その他のトラブルに対処しやすいという利点もある。

3.3.5 電解加工法

本法は電解で不要部分を溶解除去することによつて、電極の形状を材料に転刻する方法を、衝撃試験片製作に

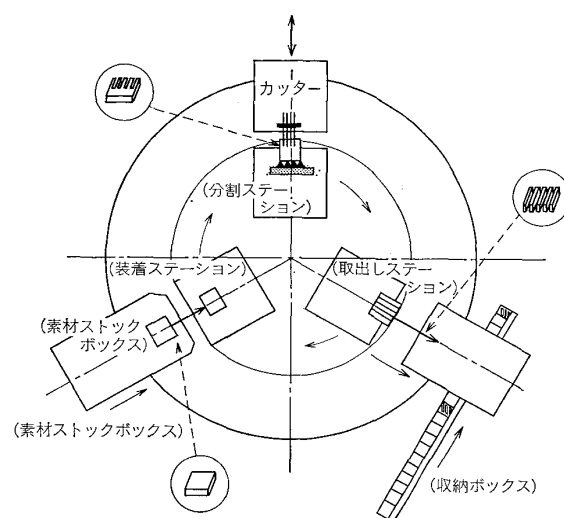


図4 三分割フライス

応用しようとするもので、既に専用機も2基稼動を開始している。

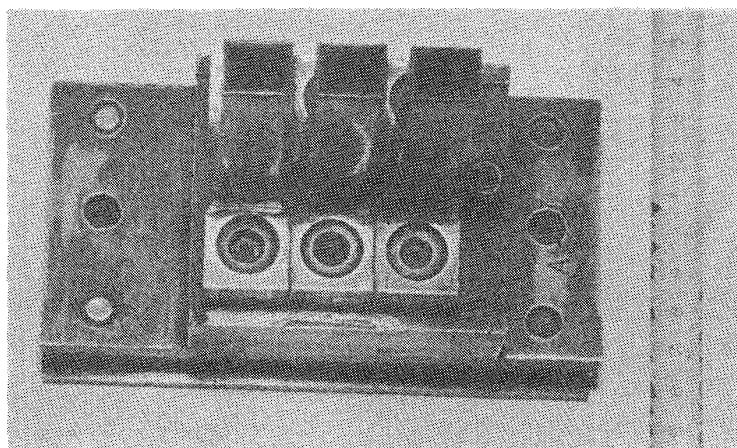
写真1⁵⁾のような電極を用い、長さ50mmの試験片加工が、試料のセットを含めて40minで終了する。ワークの同時セット数が10個となるよう電極を平行配列した場合、1セット当りの所要時間は4minとなる。ユニークな加工手段として注目されている。

本法では、機械工作では3ステップを必要とする素材の表、裏面研削減厚および3分割切断を、ただ1回の電解動作で終了するので、とくに厚い板からの加工に有利な方法と考えられる。また、加工中の試験片に力加わらないので、加工による材質変化はなく、電解中に発生する水素の影響も現在のところ認められていない。ただし、電解条件を一定に維持するために生成するスラジを除去する必要がある。スラジの生成量は比較的大きく、ある実用事例では、30セット90本の試験片加工に当り約 2m^3 (半乾燥状態) の処理が必要といわれている。

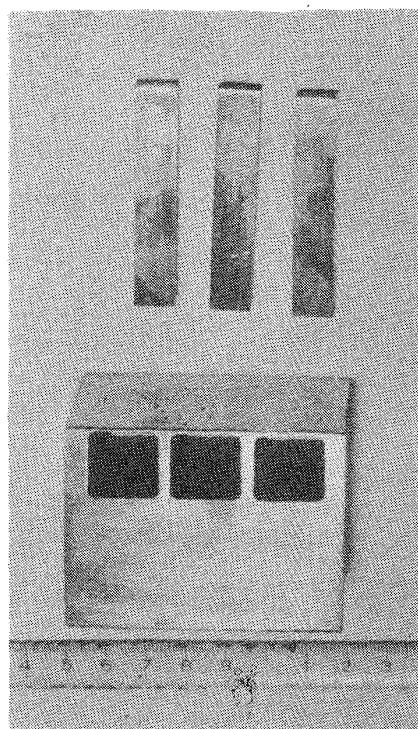
一方減厚代のあまりない薄い素材からの切出しには、電解に際しての付帯作業とのバランスで、むしろ機械工作法の方が有利とする見方もある。この付帯作業には、電解液の濃度調整など、条件調整も含まれるが、電極寸法に近い薄物の場合、電極に対する素材の位置決めが特にむずかしい。

また、電解には、10セット当り1100kWhの電力が必要で、通常の試験所の電源容量から考えて電力増強費も考慮に入れる必要がある。

そのほか、電極に固着するスラジによる寸法の経時変化、短絡による極めて高価な電極の破損など、本来、ジェットエンジン139のタービンブレードなど、高価な部品の加工技術として発達した本法を、試験片の量産に適用する上で、解決すべき幾多の問題点はある。しかし、機械加工からの脱却の一事例として将来の開発を期待し



電 極



素材および試験片

写真1 衝撃試験片の電解加工

たい技術といえる。

3.4 試験測定

材料試験機の自動化は、現在の材料試験に、人の官能に依存する部分がいかに複雑に混入しているかを再認識させた。試験測定操作は、一見単純な繰り返し作業のように見えるので、そのシーケンシャルな手さばきだけに眼をつけると、容易に自動化できそうに見える。しかし加工にせよ測定にせよ、試験の内容、意味を理解せず、表面的な動きだけをとりえて装置化した自動化はほとんど失敗に終り、自動化されてはいるが使われていないという実状がある。

総じていえることは、省力化効果といつた直接的な経済効果を前提として考える限り、測定の自動化は成立しない程割高なものにつくという事実である。そこで、人為的な誤差の排除（測定精度の向上）、試験速度の向上（例えば在庫圧縮、出荷推進などの効果）、帖票転記業務の合理化、安全性確保などの効果をあわせ考えた上で、自動化にふみ切るのが一般的である。

しかし、省力化効果以外の自動化メリットをどうとらえるかは、自動化の時期、背景、あるいは投資のポリシー、といった周辺条件により、全く一定しない。少なくとも各事業所に共通していえることは、自動化の効果を定量化する基準が不明確ということであろう。

結局、省力化効果が自動化を支える主要な根拠となり一定の基準にまで予算が圧縮される結果ハードの動きの機械化にとどまり、人の官能に代る確認回路、判断回路

などが省略された中途半端な自動化におち入りやすい。

製鉄所が新規に建設される時点では、材料試験設備計画の中に、省力化効果以外の要素が十分に勘案される。すなわち、生産システム全体との実質的な（あるいは時として形式的な）調和という大きな見方の中に置かれるので、機械試験というワク内での採算性を超えるものでも、大胆な自動化が企画される。とくに、測定の自動化は、その大部分が新規製鉄所の誕生を緒にして発展してきたことは、このような事情を物語るものであろう。

以下、主要試験項目に関して、その現状を述べる。

(1) 衝撃試験

工程の単純な衝撃試験機のハンマー振上げの自動化、エネルギーレベルの計装化はすでに定着している。これにより、衝撃試験要員は半減した。

ただし、試験片の温度設定や試験機への装着、および破面率の測定に、現在なお 1～2 名の人手を要している。

温度設定や装着の、自動化は採算性の面から困難とみられ、また、破面率測定の自動化は、その技術的な見通しがいまだに得られていない。

(2) 硬度試験

硬度測定の自動化は、比較的早期に手がけられたが、本格的な自動化機構の採用によりようやく安定した動作を示すようになったのは最近のことである。しかし、価格が採算分岐点に近いので、自動化は、試験量が極めて多い場合に限って有効である。特殊鋼メーカーで、ジョ

ミニ試験における 2mm から 5mm ピッチでのロックウェル硬度多点測定に、自動化装置を効果的に使用している例がある。

ビッカース硬度測定の自動化も検討されている。ダイヤモンド圧子による圧痕の表面積を、電子ビーム走査で求める方法もその一つで、エッチングしない研磨面に対しては肉眼判定と有意差のない結果を与える。しかし、エッチングによって測定箇所を確認した上、硬度測定を行うという、鋼材のとくに溶接部の硬度分布測定など、最もありふれたケースに対しては、圧痕周辺にかかったパーライトを、圧痕の一部としてカウントしてしまうため、硬度が高目に出るという問題点が未解決のまま残されている。

一般に、肉眼判定に代わる光学的、あるいは電気的な図形解析は、鋼材の清浄度、非金属介在物、結晶粒度などの顕微鏡観察や引張、衝撃試験片の破面状況観察の自動化手法として、開発の途上にあるが、得られる情報が不十分、もしくは包括的に過ぎ、ほとんど実用化されていない。

(3) エリクセン試験

エリクセン試験のサイクル全自動化設備も稼動しているが、採算分岐点をやや超えるので普及していない。前述の硬度試験、エリクセン試験など、薄板を取扱う測定の自動化では、試験片の 1 枚 1 枚の確実な搬送といった単純な問題から逐次解決する必要がある。試験室に搬入される材料の板厚、曲り（そり）の程度、潤滑油の付着状態、剪断の際のイバリの状態などが、試料ごとに微妙に異なり、たとえば、バキュームフィーダーが、潤滑油で密着していた 2 枚の試験片を同時に測定ポイントに搬送したため、試験片番号と測定値との対応に疑義を生じ、試験のほとんど全部をやりなおすといったトラブルも頻発した。現在では、マグネットによる各板分離、次いでバキューム吸引といった 2 段階の対策により、この種の事故も防止されている。

製造の自動化、たとえば打抜き加工の自動化では、たまたま 2 枚の素材を同時に搬送したとしても、これらを廃棄すれば事足りるが、試験の自動化では試験片と測定値との対応関係が崩れ、一連の試験全体が無効となるため、この種の事故を完全に防止する対策が必要となるのである。低コストの試験片記号自動識別技術の開発も期待されるところである。

(4) 引張試験

引張試験の自動化については、現行試験法を前提とする限り、大規模かつ複雑な構造となる割には、なお人手の介入を要求するため、特殊なケースを除いて経済的には成立しがたい。機械試験小委員会が、昭和 49 年以降 2 年間に渡り、機械試験機メーカーの協力を得て実施した“引張試験機の自動化研究”⁶⁾によれば、自動化上の問題点が次のように要約されている。

(要約)

1. 試験片形状、標点距離の多種多様性が、試験片の供給、搬出、およびチャッキング機構を複雑化する。
2. JIS 規定の伸び検出方法が、破断後の突き合せ伸びに限られており、本法に準ずる限り経済的には不成立。
3. 上、下降伏点耐力などの各物性値の定義が不明確なため、プログラム設計が複雑となる。
4. 経済的に見合う自動化部分は測寸動作のみで、伸び検出ならびに試験片供給、取出し機構の自動化はコスト高となる。

上記の報告では、仕様の程度による価格差が大きいことから、具体的なコスト試算を行っていないが、ここに 3 台 (10, 50 および 100 t 容量) の試験機の自動化を想定し、省力化人員との対比で投資効果を試算すれば、次のようになる。

$$\frac{\text{自動化設備費}}{\text{省力化人員数}} = \frac{3.17 \text{ 億円}}{(3 \text{ 人/直} \times 4 \text{ 直}) - (1 \text{ 人/直} \times 4 \text{ 直})} = 3.962 \text{ 万円/人}$$

自動化前的人数 自動化後的人数

なお、自動化後の要員 (1 名) の主作業は、試験片準備、(照合、確認、試験片番号順配列、形状検査など) 荷重レンジ・装置条件設定、運転状況確認と異常時のバックアップ・データ確認と送信手続、破断位置、破断面の確認 (必要な場合) 絞りの測定、キャリブレーション、その他日常点検保全、整備連絡およびデータの編集整理保管などとなる。

図 5⁵⁾に、最近新設された一貫製鉄所で試運転中の自動引張試験システムのフローチャートを示す。この設備では、随所に確認回路を設け、通常の、人による判断機能を可能な限り機械化し、自動化のメリットを上げようとする試みが見られる。すなわち、試験片の寸法精度不良、試験機への過負荷、チャックの滑り、試験片のとり落とし、破断試片の回収ミス、計算機ダウンなどの事故については、センサが把握してラインストップをかけ、警報すると同時に、異常位置をタイプアウトし、監視者による迅速な復帰をうながすように配慮されている。

3.5 情報処理

試験情報処理機能は、自動試験装置において測定値を把握する部分と、測定値から特性値を演算し、上位計算機に送信する部分より成る。特定の試験情報は、常に試験材の番号とセットで送信され、上位計算機では、この番号をキーに、各種の測定値を編集し、検査記録や検査証明書の発行につないでいる。規格もしくは、社内基準によるフィルターが内蔵されており、合否の判定や異常値リストの打ち出しも行われる。

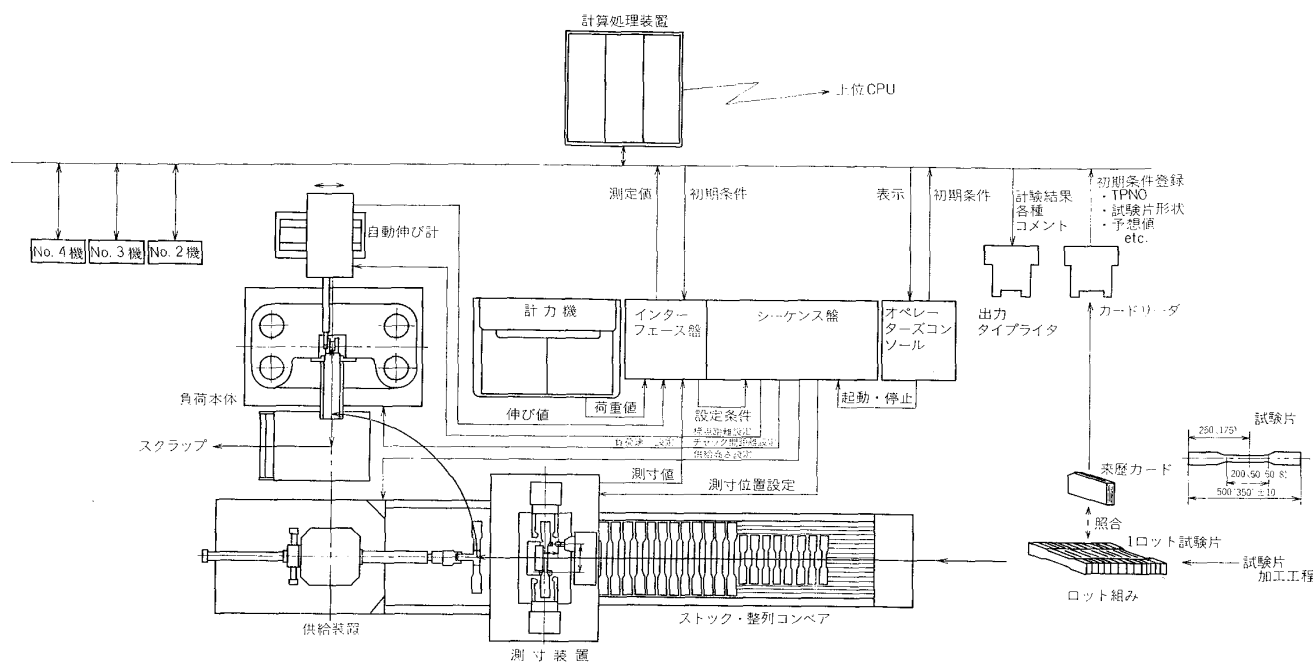


図5 自動引張試験システム

現状では、多くの製鉄所が特性値の演算、および上位計算機への送信までは人手で行い、上位計算機を、主に帖票の発行に利用しているにとどまっているが、最近建設された製鉄所では測定値の読みとり以降一貫して計算機に依存する（引張り、衝撃、および硬度試験）試みもなされている。

試験装置における測定値の把握で問題となる点は、測定値のロジカルな定義が明確でない場合、例えば、S-S曲線のどのような具体的な変化をもつて降伏点とすることといったことを、電気信号の特定の変化におきかえるのに時として大きな割り切りが必要になることである。肉眼判定を前提に記述されている現行規格ではこの困難は止むを得ないことといえよう。

最近建設された新鋭製鉄所では、引張試験情報のとり出しに関して、材料試験技術者が中心となり実務の経験をベースに徹底的な研究を行い、とくに、降伏点ならびに破断伸びの測定に関する基本的と思われる判定パターンを設定した⁸⁾。

現行JISで規定されている破断後のつき合わせ伸び測定方法は自動試験機では採用できず、破断の瞬間に伸び計が示す測定値から破断伸び(%)を把握しなければならないが、上記の研究によれば、繰返し精度の面では、自動検出法の方がむしろすぐれているのではないかと考えられている。

このように情報処理の自動化研究は測定値の把握方法に関する現行規格の問題点を解明する上からも有意義と思われる。

人手による、個人の経験の多少による判定の相違や誤差、あるいは計算ミスなどを考慮すれば、判定値把握の

自動化は省力化効果以上の付価的效果も大きいので、それなりに投資メリットも期待される部分である。

4. 材料試験総合自動化システムの策定研究

4.1 本策定研究の特徴

以上、紹介した自動化例は、それぞれ特定の工程部分にまどがしぼられており、かつ、これらの自動化は、鉄鋼メーカーの主導によつて推進されたものであつた。

これに対して、日本産業用ロボット工業会材料試験総合省力化システム策定委員会（委員長・東京大学工学部佐田登志夫教授）の研究は、機械試験工程の総合一貫自動化システムを策定するという意味で有意義な経験であつたばかりでなく、策定案の評価を通じて、材料試験の自動化をとりまく各種の問題点が端的にクローズアップされた好事例とも考えられるので、以下、その活動の概要を紹介することとしたい⁹⁾。

この研究は昭和50年度、日本小型自動車振興会補助金事業として実施されたもので、小量多品種生産工程の自動化を目的として開発された工業用ロボットの、材料試験合理化への適用を検討しようとするもので、主催団体である日本産業用ロボット工業会に対し、鉄鋼協会ならびに試験機工業会が協力する形で進められた。

4.2 研究経過

月産約20万t級の厚板工場を想定して、鉄鋼協会側委員が提出した試験前提にもとづき、ロボット工業会側ならびに試験機工業会側委員が、試験材搬入から、試験片加工試験測定を経て、測定データがコンピューターにインプットされるまでの一連の工程を、可能な限り全連続自動的に処理するための装置の仕様、構成ならびに全

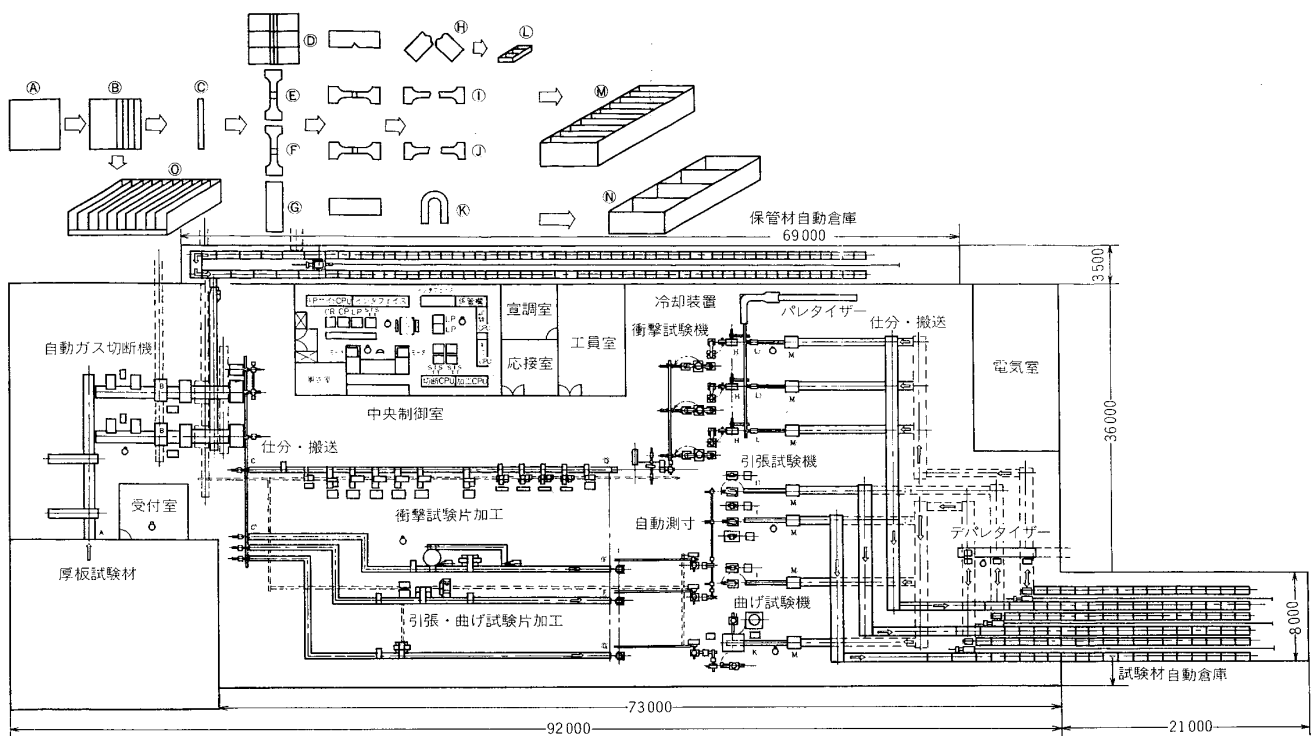
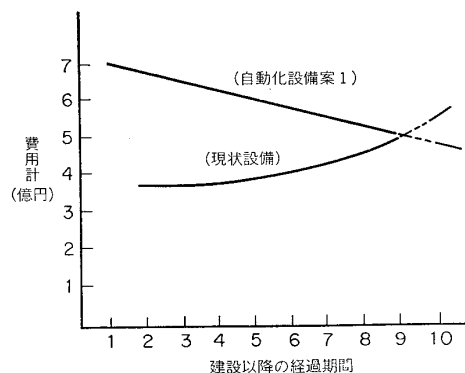


図6 材料試験総合自動化システム全体レイアウト

図7 策定案の年度別費用
(従来設備による場合と対比)

体レイアウトの設計を行い、最後に全員で種々の角度から策定案の評価を行なうというスケジュールのもとに進められた。

4.3 研究結果

策定されたシステムレイアウトを、図6に示す。

しかるに、策定が進むにつれて、従来の各産業分野における自動化とは異なる設計上の問題が数多く見出され、策定案の経済性を省力化投資効果の側面から評価する限りでは、図7、ならびに表3に示すようにその効果に疑問を抱かせる結果となつた。

4.4 技術討論会

このような結果をふまえて、当委員会では、計測、自動化、ならびに材料工学の各分野の専門家からなる学識経験グループの参画を求めて検討した結果、次のごと

興味ある解析意見の集約をみた。

なお、参画を求めた専門家は、次の諸氏（敬称略、50音順）であつた。

井形 直弘	東京大学工学部教授
尾崎省太郎	工業技術院機械技術研究所 ロボット工学課長
桑原 哲郎	武蔵工業大学助教授
平 修二	京都大学工学部教授
寺尾 満	東京大学工学部教授
矢野 宏	工業技術院計量研究所計測機構課長

解析意見の集約

(1) 現行材料試験法と、自動化技術水準との関係

人手による試験を基本として発展した、現行試験技術には、加工～測定 of 各工程の中に、人の官能に依存する部分が、複雑に入り組んでいる。そのため、たとえば、搬送着脱、位置ぎめなどの単純部分の自動化は可能であっても、工程を連続的に自動化することが（3年後に実現可能と予想される技術を駆使するとしてもなお）困難である。

例えば、破断伸び、降伏点、破面率測定などについては、現行規格上の表現を機械的手段に置きかえられないため、一連の工程に複雑に人手の介入を要求することとなり、省力化効果が激減してしまう。

(2) 試験片、試験法の多様性と、試験片の独立性

単純操作部分についても、多岐にわたる規格での受注にそなえて装置機構が複雑となり、かつ材料試験の有する一品一葉の母集団代表性という性格から、不良品（ま

表 3 策定案をベースにした省力化投資効率

工 程	自動化設備 (策定案)			通常の設備		省 力 化 投資効率 百万円/人	自動化したあとの 人の作業内容
	主要機器構成等	設備費 (百万円)	要 員 (人)	設備費 (百万円)	要 員 (人)		
切 断	全自動ガス切断システム	600.0	8	500.0 (60.0)	12 (20)		試料番号読取り ラインオフ指令 (特殊加工品) バッチ投入指令 (緊急加工品) 切断不良材管理 保管材スクラップ管理
残材保管	立体残材倉庫自動格納 搬出システム	95.8	4	2.0	8		
計		695.8	12	502.0 (62.0)	20 (28)	24.2 (39.6)	
加 工	両頭フライス, NC フ ライス, トランスフ ォーマシン, マーク リーダーなど	528.0	4	312.0 (130.0)	21 (27)	12.7 (17.3)	工具プリセット
試 験	全自動試験, 測定結果 送信システム	545.7	12	111.0	18	72.5	伸び, 突き合せ判定, 曲 げ判定, 一部グリップ 交換, 破面判定
共 通	搬送設備, パレタイザ ー, マークリーダーなど	141.5	0	180	2		全項目に共通 装置条件変更, 工具プ リセット変更, 運転監 視, トラブル処理, 整 備・保全, 緊急補修お よび総合整備連絡
情報処理	各工程用 cpu, および 統合 cpu	511.0	8	120.0	1		
そ の 他	建家, 立体倉庫など	570.6	4	171.0	1		
合 計		2 992.6	40	1 396.0 (774.0)	63 (77)	69.4 (60.0)	

通常の設備費には自動ガス切断機 (保有1社) ならびにトランスフォーマシン (保有1社) を含んでいる。しかし, これらは必ずしも一般化して
いるとはいえないので, これらの設備を一般に普及している手動ガス切断機ならびに工作機械と置きかえたケースについても () 内で示した。

たは不良データ) の検出要素が要求されるため, これが装置を極めて高価なものにする。

また, コスト問題を度外視しても, 現行の材料試験の自動化をはかるためには, 下記のごとき項目の自動化技術が開発の課題とされた。

- a) 試験片の識別方法
- b) 試験片温度の急速設定法 (衝撃試験の場合)
- c) “のろ”を生じない, 寸法精度のよい溶断方法

なお, 策定案の評価方法に関し, 学識経験グループから, 省力化投資効果以外の要素すなわち, 試験情報のフィードバックのスピードアップによるメリット, 安全性, などをも含めた総合的な見地に立つ評価の示唆もあつた。確かに, これらの評価尺度について, 明確に指標化されていない面, 反省の余地があり, 将来の課題ともいえる。

ともあれ, 自動化研究に端を発して, 現実の対策として材料試験規格検討のあるべき姿に対して活発な討議が繰返された結果, 当委員会は次のごとき提案をもつて報告書を完結している。

『材料試験は, 鉄鋼の製造に不可欠な工程の一部であり, 鉄鋼生産体制の発展との均衡の維持をはかるため, 生産技術の進歩とその歩調をとる必要がある。かかる観点から, 現行材料試験規格には規格の国際性など, 幾多の解決すべき諸問題が存在するといえども, その今日的な改善は不可決というべく, 官民一体となつた協力体制のもとに, 将来に向つての十分な見直し, 検討

を展開されるよう希望したい。』

その他, 本討論会で発言された注目すべき意見として現代では材料の一側面を代表する引張り, 衝撃などの古典的評価のみでは, その期待特性を論ずることは不可能であり, 更に, 材料の全体評価という観点から, 工業規格としての適正な精度を検討する必要がある, より実用的, かつ簡便な評価方法の開発も必要, などがあり, 貴重な示唆を与えるものであつた。

なお, 本研究の中で, 試験の自動化上の大きな障害と考えられていた試験片の自動識別技術が模索されたことも有意義であつたと考えられる。

5. 材料試験合理化の方向

試験の自動化の目的をどう考えるかによつて, 効果の評価も異なるであろうが, 省力化などの直接的な経済効果を主な目的と考える限りでは, これまでに述べたような前提条件の拘束のもとでは, その推進には今後一層の困難が予想される。すなわち, 複雑な人手の介入を除き, 連続性のある自動化を行うためには視覚, 触覚の装置への組込みを要求されるが, これらが自動化の最も高価な部分とされているからである。また, 自動化の目的の一つとして, 迅速化の効果が検討される場合があるが, 荷重 (応力) 付加速度が規定されている場合が多く, 自動化による迅速効果はあまり期待できない¹⁰⁾。

すなわち, 試験の合理化を自動化に期待するだけではその効果を上げ難いものと考えられる。

したがって、以下、自動化以外の側面からその合理化への対応を考察してみたい。

5.1 高速化

引張試験における歪増加率を上げたり、硬度測定における荷重保持時間を短縮することによつて、試験を高速化する方法も、高速化による影響を材料別に把握しておくことを前提に検討の余地がある。

井形²²⁾は、A. R. ROSENFELD および G. T. HAHN が鋼材について、 $10^{-5} \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ に及ぶ広範囲の歪速度で行った実験結果などをもとに、特定の歪速度領域では歪速度と下降伏点との間に一定の関係式が成立するので、

例えば、鋼種 X 52 について室温近傍では

$$Y(10^{-4} \text{ S}^{-1} \leq \dot{\epsilon} \leq 10^{-1} \text{ S}^{-1}, \text{ psi})$$

$$= Y_s + 44\,000 - 2.030 T^{1/2} + 2\,000 \log \dot{\epsilon}$$

$$\text{ただし, } Y_s = Y(T = 298\text{K}, \dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ S}^{-1})$$

このような関係を利用して、高速歪による試験結果を特定速度歪による試験値に換算することも可能となることを示唆している。

また、軟鋼板のロックウェル B 硬度に関して、筆者らは、荷重保持時間の長短にかかわらず試料間の硬度順位はほとんど変化しないことから、保持時間は短縮できる可能性があると考えた¹²⁾。

高速化の影響は材料によつて異なるので、材料で層別した実験の積み上げが必要であるが、測定数が多い場合には時間短縮による効果は極めて大きく、この方向の研究は合理化対処の一方向としても期待されるところである。

5.2 代替法

引張特性と硬度との相関については、既によく知られている。したがって、冷間圧延鋼板については、硬度で代替する提案も多く行われる。

また、ASTMでは、絞り用・深絞り用キルド鋼板(A 620)については、5 元素を規定するだけで機械試験項目を規定していない。

厚板に関して、木村¹³⁾は、引張強さのみが広い強度範囲 ($40 \sim 130 \text{ kg/mm}^2$) でよく相関すると述べている。

硬度は、表面付近の情報を与えるので、板厚が厚い場合に安易に利用できるわけではないが、冷間圧延鋼板については大いに検討の余地がある。引張試験に比較し、 $1/5 \sim 1/3$ 程度の時間で、測定可能で、しかも自動化しやすい硬度測定への切替えは十分の効果を約束するものである。

このような代替技術の普及は、地道なかつ材質や工程歴による層別データの積み上げによつてもたらされるものであるが、各種の材料に接する機会の多い現場試験技術者が、更に注目してよい研究方向と考えられる。したがって機械試験小委員会でも、組織的な共同調査研究のテーマとしてその進め方を討議しつつある。

また、伸び特性をさほど問題にしない場合には、引張

試験片の平行部切削を省略し、短冊形試験片を使用するなど、試験片形状の簡略化も検討の対象となろう。

5.3 非破壊検査法による材質評価

電気メッキラインや連続焼鈍ラインで用いられ始めている走間連続自動硬度計の考え方を拡張して、鋼材特性をオンライン的に求めようとする期待は常にある。

超音波、電磁気、音速などが種々の機械的性質と相関することは、多くの実験例によつて知られており¹⁴⁾、焼入深度測定、異材発見機のような実用機も市販されている。硬度の場合、結晶粒度が相関の媒体と考えられているが、材質が異なれば補正を必要とする点から必ずしも粒度だけでは説明がつかない。とくに、動的な条件のもとで測定する引張試験特性などを、静的な状態から把握される物性値で推定するとなると、双方の測定値に共通に影響を与えている因子を追究するために、物性の本質にさかのぼつての極めて高度な解析が必要となろう。

また、機械的性質は多くの因子によつて形成されているが、単独の検出素子に感応する因子は限定されたものであるから、検出素子の組合せ技術も必要となろう。既に定着してしまった現行試験に対しては、さほど問われることもないが、試験方法は広範囲の共通性を要求されることから、その方法を変更するとなるとその理論的な根拠が要求されるはずで、したがって品質保証手段としての適用は将来の問題と考えられる。ただ、従来の機械試験値との 1 : 1 の対応にこだわらず、材料のある種の挙動をよく説明するに足る指標を、非破壊的な手段で迅速に把握する方法の開発は非常に有意義と考えられる。

鋼材試験とは離れるが、たとえば平ら¹⁵⁾により、鋼材の回転曲げ疲労について、その表面の X 線半価巾の増減により、疲労の速行を推定できることが明らかにされており、X 線応力測定により、非破壊的に車軸、圧延ロールなどの疲労状況調査が可能となつたなどは、好事例の一つと考えられる。

5.4 試験規格

今 JIS をはじめ各国の規格をみると、機械試験方法については、学術研究および工業取引の双方の目的に共通な唯一の方法を規定している。しかし前者が材料(間)の特性(差)を精密に探求することを目的とするのに対し、後者では材料の特性がある管理(規格)の範囲内にあるかどうかを確認し、選別する手段として用いられている。

後者の場合、品質水準が規格限界に近い場合は高い精度で確性する必要があるが、単に規格の範囲内にあることが保証されれば個々の数値はさして利用されることのない場合もある。このような場合、学術研究目的程に精密な測定法は意味がなく、むしろ、製造、使用双方の立場からの共通の要望として、特定の規格に対する成品の水準分布を把握する方が、より有用と考えられる。苛酷な成型を伴う鋼材の一部に、試験値によりある程度の加工条件の調整を行なう場合があるが、例外的といえる。

鉄鋼協会が、需要家 323 社について調査した¹⁷⁾ところによれば、その 80% がミルシートを必要とはするが、必要な理由を、管公庁や客先への提示および代金決裁に使用するためとする回答が 70% (棒鋼、線材では40%) を占める。すなわち、数値として有効利用される場合もある一方、殆んど形式的に利用されているとしか見せない場合も非常に多いことを物語っている。

また、材料試験は、使用者側の千差万別の成型特性の一部を、共通的な試験で確性する、代用試験の一つである。

これらの点を考慮すると、工業試験としての材料試験に、学術研究目的の試験と同一の精度を要求し、製造者に過大な負荷感覚を与えることは、品質保証上好ましいことではないと考えられる。

規格の策定に当つては、これらの点を十分考慮する必要がある。例えば比例型試験片は、伸び特性に関して理想的な試験片であり材料研究面からは不可欠とされ、欧州各国が主流とするところではあるが、圧倒的大量を占める出荷試験に対してはその目的ならびに効率の面々から考え、安易に導入すべきものではない。また、現行規格には、例えば破断のび、降伏点などのようにその定義が抽象的で不明確であるか、もしくは自動測定には全く適さないものがあり、規格の今日的な修正も望まれるところである。

材料試験の規格検討の母体となる標準化委員会機械試験方法分科会では、精度・能率の均衡を主眼とする規格の近代化を推進するため、昨年度来運営体制の強化をはかり、鉄鋼各社を中心とするグループにより、上記の修正研究を進めている。分科会では、更に試験片、測定法の必要精度の再確認、更には迅速法、簡便法の調査研究の推進も意図されており、今後の成果が期待されるところである。

輸出対象の多い我が国の製鉄所では、各国材料試験規格の微妙な相違が材料試験の合理化に影響をおよぼしている。単位、試験片型式、伸び標点距離、衝撃刃先半径などの相違²⁰⁾が、自動化機構の複雑化を助長している。

しかし、上述したような試験規格に対する合理化指向は、高度生産を背景とした、いわば日本的なコンセンサスから生れたものであつて、このような指向が現在直ちに国際的にも受け入れられるとは思われない。

ISO, TC 164 (機械試験技術委員会)発足を契機に、我が国でも ISO への対応を強めつつあるが、各国規格の方向をみると、とくに欧州各国においては精度指向優先の考え方が強く表れており、調整の困難さを示唆するものである。

5.5 材料規格

材料規格では、所定の試験片型式による材料試験の実施、および報告を義務づけているが、個々の試験値を数値として利用する必要がない場合には、規格には保証す

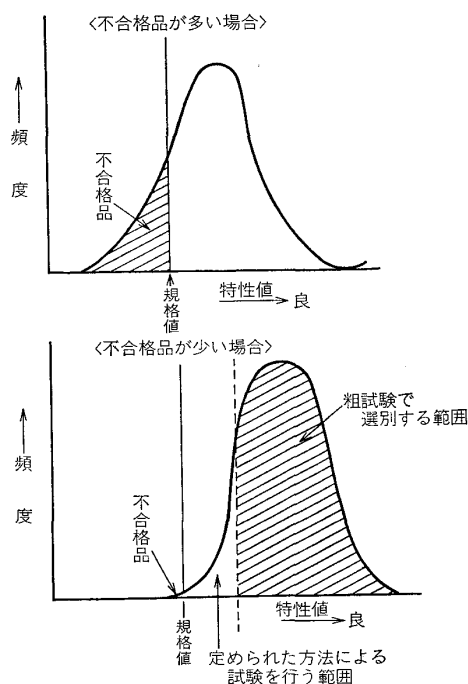


図8 簡略法の導入

べき試験値を規定するにとどめ、保証の具体的な方法は製造者に一任する。という方向も提案されたことがある¹⁸⁾。すなわち、図8のように、簡略法で粗選別を行い、簡略法の誤差を考慮に入れて、規格限界付近について精密な試験を適用し、完全な選別を行うのも一策としている。西独では、用途、目的に応じてそれぞれに合理的な保証方式を選択できるようになつており¹⁹⁾、鉄鋼メーカーでは、材料規格に規定された保証値を満足するための条件を自社なりに確立することを前提に、試験片の形状や試験の精度を自由に選択できるので、保証の目的を従来通り達成しながら材料試験の抜本的な合理化に通ずる道といえよう。

たとえば、試料採取頻度が鋼材規格ごとに定められているが、製造者は代表試料の数値いかににかかわらず全数保証を要請される立場にあるので、工程条件が大きく変化した場合は、追加試験によつて確認するなど、実質的な保証活動が行われている。かりに、試験方法自体の合理化によつてその能率を格段に上げる事が可能となれば、頻度をさほど気にかける必要がなくなり、むしろ試験数を増やして母集団の推定精度を上げることも自ずから可能となろう。

実質的な保証の上から、いずれに指向すべきかを検討する余地もあろう。

6. 結 言

以上、材料試験工程の自動化の近況を紹介し、あわせて材料試験合理化上の問題点を種々の側面から探つてみた。

材料試験の特質から、自動化中心による合理化には限

界があり,更に広範囲な角度からの研究が必要とされる。

おわりに,本解説に関連して御協力下さった金属試験総合省力化システム策定委員会(委員長,東京大学工学部,佐田登志夫教授),鉄鋼共同研究会品質管理部会,(部会長,住友金属,河西顧問),同部会機械試験小委員会関係各位,ならびに標準化委員会機械試験方法分科会,(主査,東京都立短大,川田雄一学長)に対し深甚なる感謝の意を表する。

文 献

- 1) 白浜 浩:鉄鋼業における検査工程の自動化
日本鉄鋼協会第 16 回西山記念技術講座(1972),
p. 117
- 2) 河西健一,白浜 浩:鉄と鋼,62(1976),p.1287
- 3) 田口英三ら:鉄共研品質管理部会第 2 回機械試験
実態調査報告(1972)
- 4) 中村泰男ら:川崎技報,63(1977),p. 2
- 5) 長沢元夫:スチールデザイン,170(1977),
p. 39
- 6) 白浜 浩,川井俊彦,日下部和也ら:鉄共研品質
管理部会「引張試験の自動化調査報告」(1976)
- 7) 島津評論:32(1976),p. 2
- 8) 斎藤祥三,日下部和也,小田富佐雄,小島 理:
日本鋼管技報,68(1975),p. 107
- 9) 日本ロボット工業会材料試験総合省力化システム
策定委員会報告書
- 10) 白浜 浩,秦浩一郎:材料試験技術,Vol 18,
No. 3 (1973),p. 38
- 11) 井形直弘:日本鉄鋼協会における技術講演要旨
(1977年,機料試験小委員会)
- 12) 白浜 浩:産業計測標準委員会力学量部会公開討
論会における技術講演資料(1976)
- 13) 木村博則:鉄共研品質管理部会機械試験小委員会
資料
- 14) 磯野英二:材質の非破壊試験,日本鉄鋼協会第46
回西山記念技術講座(1977),p. 199
- 15) 平 修二ら:金属材料(1962) 2, p. 84
- 16) 武智 弘ら:日本材料科学第 10 会材料強度に関
する討論会前刷集(1973),p. 61
- 17) 福原章男:鉄共研品質管理部会機械試験小委員会
資料 12-3-6
- 18) 青木 朗:鉄共研品質管理部会資料 31-II
- 19) 斎藤祥三:鉄共研品質管理部会資料
- 20) 白浜 浩,秦浩一郎:JIS B 7722~1973,衝撃試
験機,p. 15
- 21) 白浜 浩:日本鉄鋼協会標準化委員会,機械試験
方法分科会資料,K2-2 および K2-3