

守屋 進^{*2} 松本 誠^{*2} 平橋 明^{*3} 小関 恒充^{*4} 白石 利明^{*5} 渡辺 郁夫^{*6}

Development of Automatic Charpy Impact Testing System

Susumu Moriya, Makoto Matsumoto, Akira Hirahashi, Tsunemitsu Ozeki, Toshiaki Shiraishi, Ikuo Watanabe

要旨

1983年1月、千葉製鉄所材料試験センター建設を機会に世界初の全自動シャルピー衝撃試験装置を開発し、現在、順調に稼動している。

本装置は、試験片温度の急速冷却制御、試験片の自動搬送、運転状態の自己診断機能等を実現することにより、試験片の照合作業を除いて無人連続試験が可能となり、さらに、上位コンピュータとリンクすることにより、試験結果の製造工程へのフィードバックが迅速化された。

本装置の開発は、鉄鋼業の検査部門の省力化、効率化、に大きく寄与している。

Synopsis:

An automatic Charpy impact testing system has been developed for the Mechanical Test Center at Chiba Works, Kawasaki Steel Corporation, and has since been operating successfully.

The new system has various functions such as the rapid control of temperature of specimens, automatic transfer of specimens from cryogenic bath to anvil, self-check function of test values and so on.

The features of this system are as follows.

- (1) Automatic continuous impact testing has been successfully completed.
- (2) The test result has been fed back promptly to process management by linking the system to a host computer.
- (3) The SCARA robot provides the rapid transfer and setting of specimens with high accuracy.

This report explains the specification and constitution of the automatic Charpy impact testing system, together with the results of the performance test on the specimen-transfer robot to be specially used in many developed apparatus.

1 緒 言

近年、鉄鋼業における品質検査業務は、その生産量の増大、品質の高級化に伴ない従来とは比較にならないほど増加している。製造ラインに直結する探傷、あるいは成分分析には既に数多くの自動化装置をみることができ、その反面、強度、硬さ等の機械試験に関する検査設備は、規格、規準等による拘束を受け、さらに、自動化により生ずる直接的工数の削減効果が投資額に較べて少ないこと等により顕著な進展が見られず、限定された範囲での自動化にとどまっていた¹⁾。

しかしながら、生産性の向上、品質検査の信頼性の向上（人為誤差の除去）には検査部門の効率化、検査機器の自動化は避けることのできない課題であり、最近のコンピュータ技術、あるいはメカトロニクスの進歩と結びつき、引張試験、硬さ試験等に次々と自動試験機が発表されている²⁻⁵⁾。

衝撃試験についてはこれまで試験機単体の自動化にとどまっていたが、1982年3月、千葉製鉄所材料試験センター建設を機会に衝撃試験全体の自動化をめざした全自動シャルピー衝撃試験システムの開発に着手し、1983年1月、材料試験センター開

所と同時に稼動した。現在、装置は順調に稼動している。

本報では、開発された全自動シャルピー衝撃試験装置の仕様構成を紹介すると共に、開発された機器のうち、装置の主要開発課題である試験片搬送装置の性能試験結果について報告する。

2 衝撃試験自動化の歴史

衝撃試験は材料の破壊靱性を試験するもので、近年、油井管材料、LNGタンク材料、海洋材料等の発達に伴ない、その試験の重要性がますます増大している。ところで、衝撃試験にはシャルピー衝撃試験、アイゾット衝撃試験、落重試験があるが、国内で最も多く用いられている試験方法がシャルピー衝撃試験であり、その自動化の歴史も古い。Table 1に鉄鋼業におけるシャルピー衝撃試験の歴史を示す。

自動化は1963年頃から始まり、モータ、クラッチを用いてハンマーの持ち上げ、振り落としの自動化が完成し、次に、ハンマーの軸に角度検出器を取り付け、振り上り角の計測が自動化されている。1975年には、人手により試験機外に置かれた試験片を破断位置へセットするマニピュレータの付いた試験機が現

*1 昭和58年8月5日原稿受付

*2 計量器技術センター

*3 計量器技術センター主査（掛長）

*4 計量器技術センター主査（課長）

*5 千葉製鉄所管理部検査課掛長

*6 千葉製鉄所管理部検査課

Table 1 History of automation of Charpy impact testing

Year	Subject
1963	Automatic lifting up of pendulum Automatic releasing of pendulum
1968	Automatic measuring of swing angle of pendulum Digital indication of swing angle Calculation of absorbed energy by micro-computer
1973	Automatic discharging of specimen out of machine Print out of absorbed energy
1975	Completion of setting device of specimen used of air manipulator Calculation of absorbed energy by personal computer Unit conversion of absorbed energy
1979	Adoption of personal computer with CRT display

れている。これにより作業者がハンマー回転面に直接手を入れる必要がなくなり安全性が大きく向上した。また同時にパーソナルコンピュータを用いて演算処理を行う計装化が進んでいる。このパソコンの採用は、それ以後、各試験機のデータ処理に利用され、自動化の重要な地位を占めることになる。これによりデータ処理部はデスク型コンソールとなり、試験機前の作業性が改善された。これらの自動化の結果、それまで3～4名の作業者を要していたシャルピー衝撃試験作業は1～2名で行うことができるようになってきている。

このような実際の自動化とは別に、1976年に日本産業用ロボット工業会により材料試験工程の総合一貫自動化システムが策定されており、シャルピー衝撃試験についても検討が加えられている。しかしながら、提示されたような技術がその当時には実存せず、無人化の実現には数多くの技術開発の必要性を示すにとどまっている⁶⁾。

3 開発課題

開発に着手した時点では、上述のように、試験機本体の自動化はかなり進んでいたが、試験作業そのものの無人化には多くの課題が残されていた。Table 2はシャルピー試験作業を、開発着手時点ですでに自動化されていた項目と自動化されていなかった項目に分けて示したものである。これから、試験作業そのものの自動化のために開発を必要とする課題が明らかとなる。

即ち、試験の無人化には

- (1) 試験温度の自動設定と急速冷却制御
- (2) 試験片の冷却槽からの取り出し、アンビルへのセット
- (3) 試験結果のデータ処理等の機器及びソフトウェアの開発が必要である。

4 装置の基本仕様と構成

開発された装置の基本仕様と構成を以下に説明する。

4.1 基本仕様

- (1) 準拠規格：JIS B-7722, ASTM E-23
- (2) 秤 量：50 kgf・m
- (3) 試験温度：-196℃ ～ +100℃
- (4) 試験片寸法：JIS Z 2202およびASTM E-23規定の全サイズ
- (5) 1ロット試験本数：最大150本（50セット）
- (6) 能 率：約15秒/本

4.2 装置の構成と仕様

Fig. 1に本装置の機器構成と各機器間の信号の授受を示す。

- (1) 試験片冷却槽及び試験片収納装置

試験片冷却槽は、液体窒素を用いた熱交換により冷媒温度を制御するもので、急速冷却用の強制冷却とPID制御を行う温度調節の二つの熱交換系を設け、バルブの切換えにより急速設定制御を可能にしている。試験片は槽内にて試験片トレイに並べられており、またトレイは5段重ねとなっている。試験片収納装置は上段トレイの試験終了後、次段トレイを上

Table 2 Development in Charpy impact testing

	Work		Conventional	New
Verification of specimen	1 Management of specimen number 2 Input of specimen specification	× ×	Manual input at operator's console	Transmission of specimen specification through host computer
Cooling device	1 Setting of test temperature 2 Control of test temperature	× ×	Manual setting Manual operation	Automatic setting by computer Automatic control
Testing machine	1 Lifting up of pendulum 2 Releasing of pendulum 3 Withdrawing and sorting of tested specimen 4 Taking off of flash on anvil	○ ○ △ ×	Discharging by conveyor Manual taking off	Automatically withdrawing and sorting by rotary sorting unit Automatically taking off
Specimen supply	1 Picking up and setting of specimen from bath to anvil 2 Continuous supply of specimen	× ×	Manual supply	Automatically continuous supply by robot
Data processing	1 Measuring of swing angle 2 Calculation of swing angle 3 Judgement of absorbed energy 4 Making up of test report	○ ○ × ×	Manual judgement Manual posting	Judgement by computer software Print out of test report

○ : Completed △ : Completed partly × : Incompleted

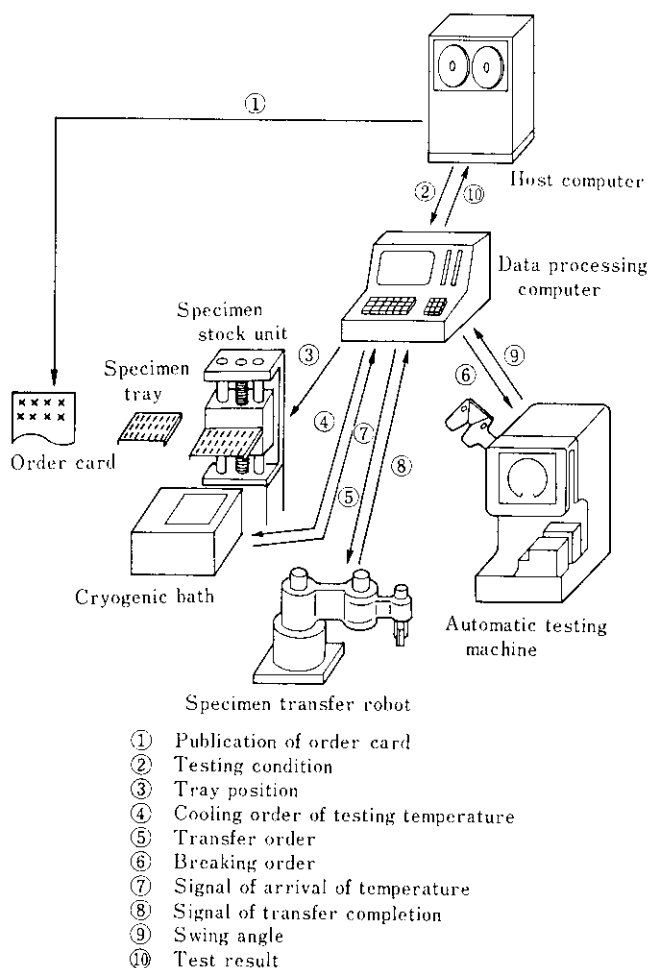


Fig. 1 Automatic Charpy impact testing system

段トレイの位置へ上昇させる装置である。

(2) 試験片搬送ロボット

試験片を冷却槽より取り出し試験機アンビルへ搬送、セットするロボットで、水平多関節型ロボットである。

(3) 自動試験機

試験機は、従来と同型式のものであるが、破断片のセット別回収器、自動バリ取り機構のほか、無人運転のための異常監視スイッチが数多く設けられている。

(4) データ処理用コンピュータ

データ処理用コンピュータは、上位コンピュータと接続され試験前に伝送される試験条件に基づき、冷却槽、搬送装置、試験機の各機器に制御指令を与え、試験全体の流れを統括している。また、吸収エネルギーの演算を行なうと共に、試験機の摩擦損失のチェック、試験値の合否判定等をソフトウェアにて処理している。

4.3 試験動作フローチャート

装置の試験動作フローを Fig. 2 に示す。作業者は加工工場にて加工された試験片を、指令カードの試験片番号を確認しながら試験片トレイに並べ、スタート指令を与えるだけで後の試験動作は全て無人にて処理される。試験時間は150本の試験片を約40分で処理できる。

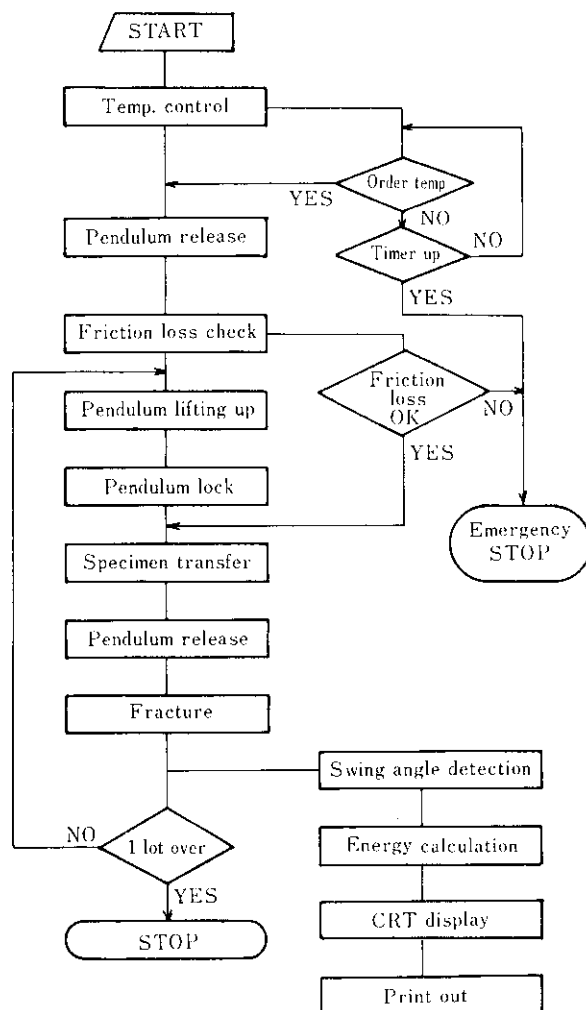


Fig. 2 System flow chart of automatic Charpy impact testing system

5 試験片搬送装置の性能

新しく開発された試験片搬送装置の開発実験結果及び性能試験結果について説明する。

試験片搬送装置の必要とする機能は、

- (1) 試験片の搬送時に試験片の温度に過度な変化を与えないこと（規格上、試験温度は指定温度に対し $\pm 2^\circ\text{C}$ 以内としている）
- (2) 冷却槽より試験片を取り出し5秒以内に試験片を破断すること。この5秒以内に試験片を破断するには、ハンマーの切離し動作、自由落下時間等を考慮すると、搬送時間は2.5秒程度に抑える必要があり、搬送装置は高速動作が可能で、高精度の停止位置再現性を有することである。

本装置の開発では、試験片を把む試験片チャックの形状、材質及び搬送機構に適した水平多関節ロボットについて検討した。

5.1 試験片把みの検討

5.1.1 試験片の把み機構

試験片の把み機構は、試験片の板厚の変化に対応できるように平行把み機構を採用し、また試験片に対しては、試験片のノッ

チ部とその反対面二点を把む三点把み式とした。これは、試験片を把む時、試験片ノッチ部が常にチャックの中心に一致するように強制する。この機構により、試験片の位置決め再現性は、収納装置における試験片の並べ方に影響されず、ロボットの停止位置再現性によって決定されることになる。

5.1.2 試験片把み具の材質

試験片の把み具は従来、竹ばし、鋼製把み具が使用されているが、竹は熱伝導率が極端に小さく試験片に与える温度変化は心配ないが精度、耐久性に問題がある。鋼製は強度は問題ないが熱伝導率が大きく、鋼製を使用する場合は常時冷媒に浸しておくことが推奨されている。よって自動化に際して、熱伝導率が小さく、耐久性のある材質を必要としていた。

本装置の開発では、セラミックスの熱伝導率が非常に小さいことに注目し、強度をもたせるためにステンレス鋼に溶射することを試みた。

Table 3 に溶射したセラミックスの成分を、Table 4 にその物理的性質を示す。鋼（純鉄）の熱伝導率は $0.18 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ であり、セラミックスは鋼の約1/30である。

Table 3 Chemical composition of ceramics coating used for specimen grips (wt%)

Cr_2O_3	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO
82.94	8.39	3.16	2.96	Trifling

Table 4 Physical properties of ceramics coated

Structure of crystals	Hexagonal
Hardness (Hv)	1600
Melting temperature ($^\circ\text{C}$)	1650
Coefficient of thermal expansion ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)	6.0
Thermal conductivity ($\text{cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$)	0.0062
Compressive strength (kg/cm^2)	7400

搬送時の温度変化を調べるため、試験片に熱電対を埋め込み搬送時の温度変化を実測した。試験片には Fig. 3 に示すように試験片の端面からノッチ直下まで直径2mm、深さ27.5mmの穴をあけ熱電対を挿入し、冷媒が直接熱電対先端に触れることのないようシールを施した。

Fig. 4 に把み具に各種の材質を用いた場合について、搬送の時間経過と試験片の温度上昇を示す。この結果、試験片を冷却槽内で把み、取り出し、試験機へ搬送し解放するまでの実測時

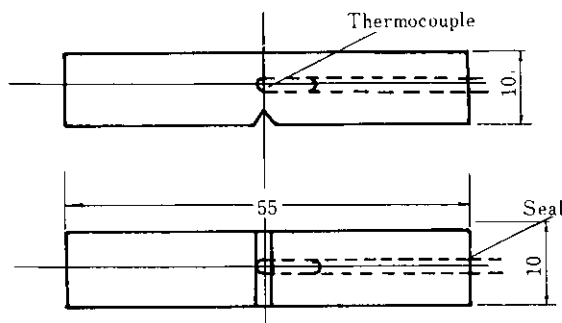


Fig. 3 Location of thermocouple in specimen

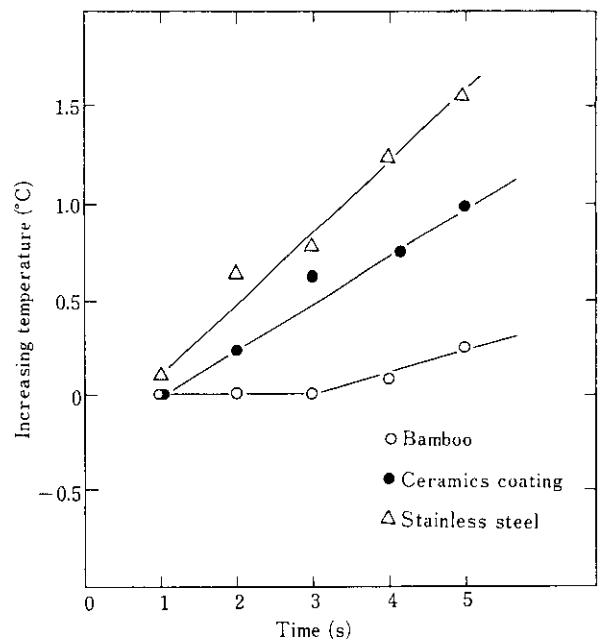


Fig. 4 Increase in temperature during the transference of specimen

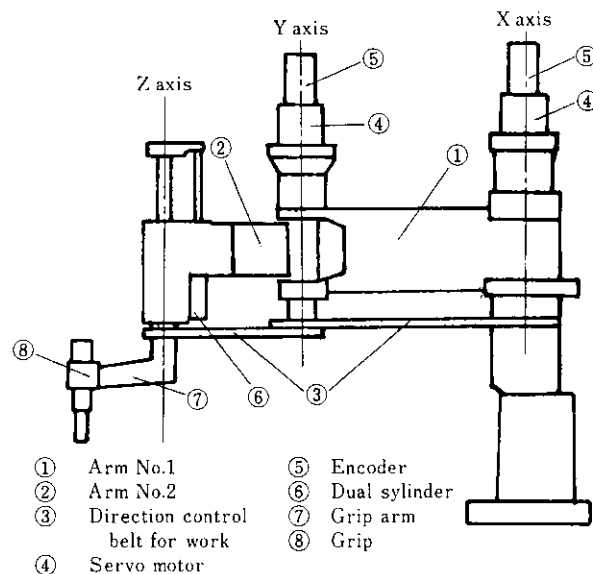


Fig. 5 Schematic view of transfer robot

間2.5秒間における試験片温度の上昇は、セラミックコーティング材では約 0.3°C と SUS 304に比し、約1/2となっている。

この温度上昇は、試験片温度の指定温度に対する許容温度誤差に比べて十分に小さく、セラミックコーティング材は試験片把み具として規格を十分に満足するものといえる。実機では、SUS 304を素材に0.2mmのコーティングを施している。

5.2 ロボットの構造の検討

小物部を搬送するロボットは既に数多く発表されているが、本装置では、動作範囲が広く、動作プログラムのフレキシビリティに優れた水平多関節ロボット（略称 SCARA）を採用し細部において衝撃試験の搬送ロボットに適するよう改造を加えた。

ロボットの概略構造を Fig. 5 に示す。本ロボットは水平旋回

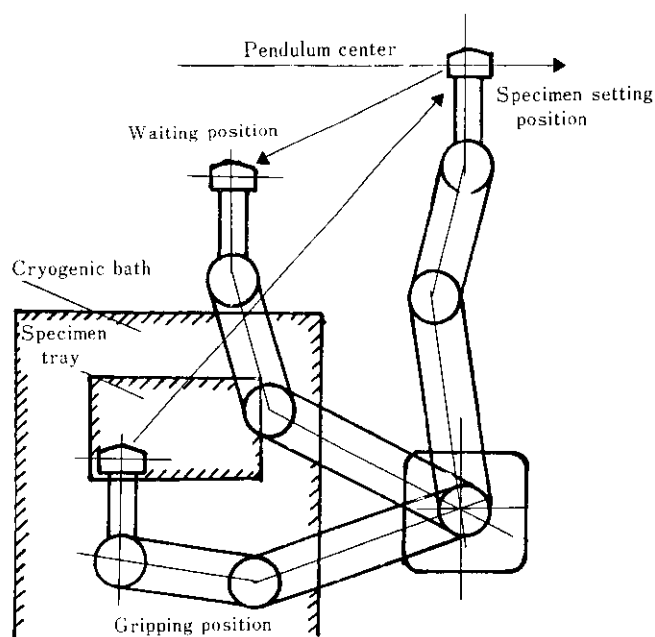


Fig. 6 Motion of transfer robot

動作を与える X 軸, Y 軸駆動部とこれに連なる第 1 アーム, 第 2 アーム, 先端把み部の上下動作を与える Z 軸駆動部, 先端把み部の Z 軸まわりの方向を一定に保つ方向保持機構とから構成される。アームの位置は X 軸, Y 軸のエンコーダにより検出され, 先端把み部の動作は X 軸, Y 軸の相対的な回転により最短距離で指定位置へ移動する。よって, 各停止点におけるアームの状態は Fig. 6 のようになる。

次にロボットに加えた主な改造点をまとめる。

- (1) 移動速度の高速化を図るため, アーム強度を検討のうえ電動機容量を大きくした。同時にエンコーダを高速応答用に変更した。その結果, 移動速度は 1 000 mm/s 以上が得られ, 冷却槽からアンビルまでの移動に要する時間を約 0.6 秒に短縮することができた。
- (2) Z 軸の上下動作に 2 行程エアシリンダーを採用することにより上下方向にも 3 点の停止位置をもたせた。この結果, 往路と復路で異なる動作を行う自在な搬送シーケンスの設定が可能となり, 搬送時間の短縮が可能となった。
- (3) アームは動作停止時, 微小な機械的振動を発生する。当初, 動作完了はこの振動がある量に収束したことをソフトにより判定していたが, これをある範囲を越える振動量の回数により認識するソフトに変更し, 停止位置でのラグタイムを短縮した。
- (4) 先端把み部の停止精度は X 軸, Y 軸の回転停止精度と方向保持機構の遊びとにより決まるが, 特に方向保持機構の遊びは先端把み部で大きく拡大されることになる。本装置では, この保持機構にサイレントチェーンを採用し停止精度を改善している。

この他, 入出力点数, 設定ポイント数の拡張, 試験機とのインタロックの追加等, 数々の改造を行っている。

Fig. 7 にアンビル上での先端把み部の停止位置再現性を示す。

その結果, $\bar{x} = 0.01$ mm, $\sigma = 0.02$ mm であり, 規格許容値 ± 0.4 mm に比べ高い精度を有している。

また, Fig. 8 に試験片を冷却槽より取り出し破断までに要した時間の結果を示す。その結果, $\bar{x} = 4.5$ 秒, $\sigma = 0.07$ 秒と十分な性能を有していることがわかる。

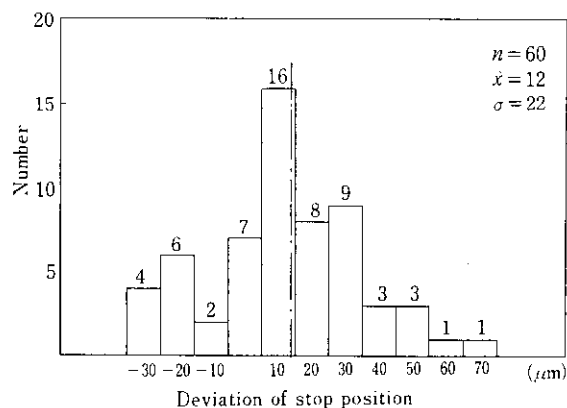


Fig. 7 Reproducibility of stop position of transfer robot grip

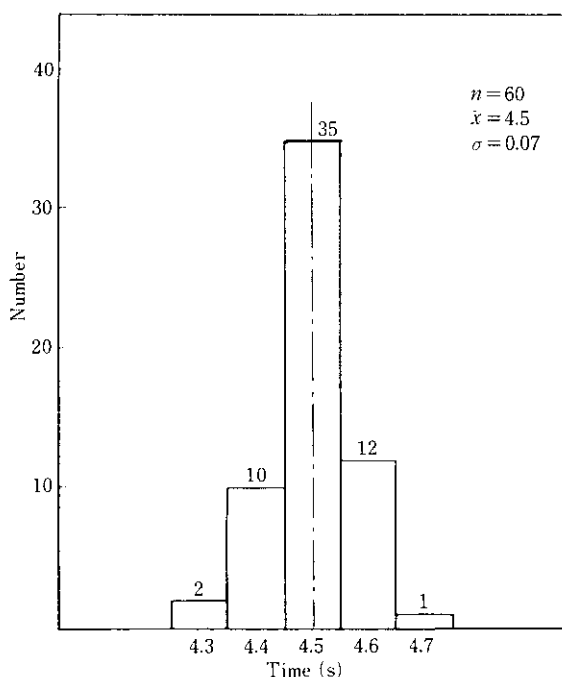


Fig. 8 Distribution of time between pick-up of specimen and its break

6 本装置による効果

これまで千葉製鉄所における衝撃試験は, 2 台の自動試験機を中心に約 20 000 本/月の試験を処理している。本装置では, 試験作業が連続的に無人にて行われるため, 今回設置された 2 台の全自動装置を 1 人の作業員にて管理している。

その結果, これまで 3 名の作業員を要していた試験作業を 1 名で行うことができる。また, 試験条件の入力作業, 試験結果の転記作業, 上位計算機への入力作業を軽減あるいは省略できたことと相まって, 本装置は大きな省力効果をあげている。

7 結 言

材料試験センターの自動化の一環として全自動シャルピー衝撃試験装置を開発した。本装置開発の目的は、衝撃試験作業を無人化することであり、そのために試験片を冷却槽から試験機へ搬送する搬送機構を開発した。本装置では、水平多関節ロボットを衝撃試験用として改造し、高速で高い位置決め精度を有

する搬送装置を完成した。本装置は、日本海事協会の検定に合格し、ASTM規格の合格認定を受けている。

導入後、材料試験センターでは、1名の作業員で2台の全自動装置を操業し、試験前後の事務処理作業の省略を含めて大きな省力効果をあげている。

参 考 文 献

- 1) 白浜浩：「鉄鋼業における材料試験工程の自動化」，鉄と鋼，64 (1978) 10，1625-1637
- 2) 木村博則ほか：「材料試験システムについて」，住友金属，28 (1976) 4，508-516
- 3) 齊藤祥三ほか：「冷延工場におけるライン内材料試験システム」，材料試験技術，25 (1980) 4，199-205
- 4) 寺沢正男：「材料試験の動向」，金属臨時増刊号，(1980)，1-4
- 5) 岩崎昌三：「最近の硬さ試験」，金属臨時増刊号，(1980)，5-8
- 6) (社)日本産業用ロボット工業会：「24時間稼働型機械的材料試験総合省力化システム策定報告書」，(1976)，176-195