

# 高性能赤外線加熱式変態点測定装置の開発

Infrared Heating Transformation Measurement Apparatus with Data Analysis Computer System

木村博則／Hironori Kimura・住友金属テクノロジー㈱ 顧問

番 博道／Hiromichi Ban・住友金属テクノロジー㈱ 鹿島事業部 技術部長

板垣次男／Tugio Itagaki・住友金属テクノロジー㈱ 鹿島事業部 技術部技術開発チーム 係長

島田健次／Kenji Shimada・真空理工㈱ AEグループ 試験技術リーダー

根本以久武／Ikumu Nemoto・真空理工㈱ RHグループ 電子技術リーダー

## 要 約

新しい鉄鋼材料の開発や強度・靱性を改善するために変態挙動を把握することは非常に重要である。しかしながら従来の変態点測定装置を使った場合では、熟練した技量と長時間を要していた。本装置は制御部・測定部を真空理工㈱が、データ処理部を住友金属テクノロジー㈱が分担して共同開発し、高精度・高効率で変態挙動を測定・解析できるようになった。

## Synopsis

It's very important to know at what temperature the transformations occur when steel materials are newly developed. However, it requires great skill and a good deal of time obtaining the data using conventional transformation measurement apparatus. New measurement apparatus has been developed by ULVAC Sinku-Riko, Inc. and Sumitomo Metal Technology Inc. . ULVAC Shinku-Riko, Inc. developed control and measurement parts of the apparatus, and Sumitomo Metal Technology Inc. developed the data analysis software.

## 1. 緒 言

純鉄は910℃に変態があるが、この変態する温度は炭素、ニッケル、クロム等の元素の含有量および冷却速度によってかわり、さらに引張強さや伸び、かたさなどの機械的性質が大きく変化する。この特性を利用して鋼の中の合金元素含有量を変えて優れた性質の鉄鋼材料を開発する場合、あらかじめ冷却速度と変態点の関係を求めておくことが不可欠である。特に高強度で高靱性の厚鋼板の開発には変態特性の把握は最適製造条件を決定するのに重要な要素となる。

変態点の測定には従来高周波誘導加熱方式による試験機が使用されてきたが、はやい冷却速度がとれなかったりあるいは得られた熱膨張・収縮曲線から変態点を求めるのに熟練した技量が必要であり作図が完了するまで長時間かかっていた。また個人誤差が入りやすいという欠点があった。

今回、赤外線イメージ加熱炉の急速加熱・急速冷却技術を得意とする真空理工㈱と冷却過程の熱収縮曲線から変態点を検出して変態曲線図たとえば連続冷却曲線図(以下CCT曲線図と記載)を作図するソフトウェアについて住友金属テクノロジー㈱鹿島事業部が共同して高性能の変態点測定装置を開発したものである。

## 2. 装置本体の仕様

写真1に装置の外観を示す。写真右側が装置本体であり試験片を加熱冷却しその膨張収縮を測定する。左側がコンピュータであり市販のパソコンを使用している。このコンピュータは装置本体の制御監視と得られたデータの処理と解析を行う。これらの装置が必要なスペースは小さくわずか1.5m×1mの平面積である。

第1表に装置本体の仕様を示す。弊社所有の従来機に比して赤外線加熱を採用しており金属・非金属を問わず測定が可能となっている。さらに従来誘導加熱方式に付随した電波ノイズの問題が全くないのが特徴である。

第1図に本体の制御系統図を示す。特に冷却開始時には真空中にガスが吹き込まれるので急冷時には試料が必要以上に急速冷却されてしまう現象が生じていた。本制御系は真空中に必要な大量の冷却用ガスが噴出しないようバルブ系統に制御がかけられており初期設定された冷却速度に従い一定の勾配で冷却されるシステムになっている。冷却ガスは液体N<sub>2</sub>で冷却できサブゼロ処理が容易に行えるようになっている。



写真1 装置外観 (商品名:トランスマスター 1)

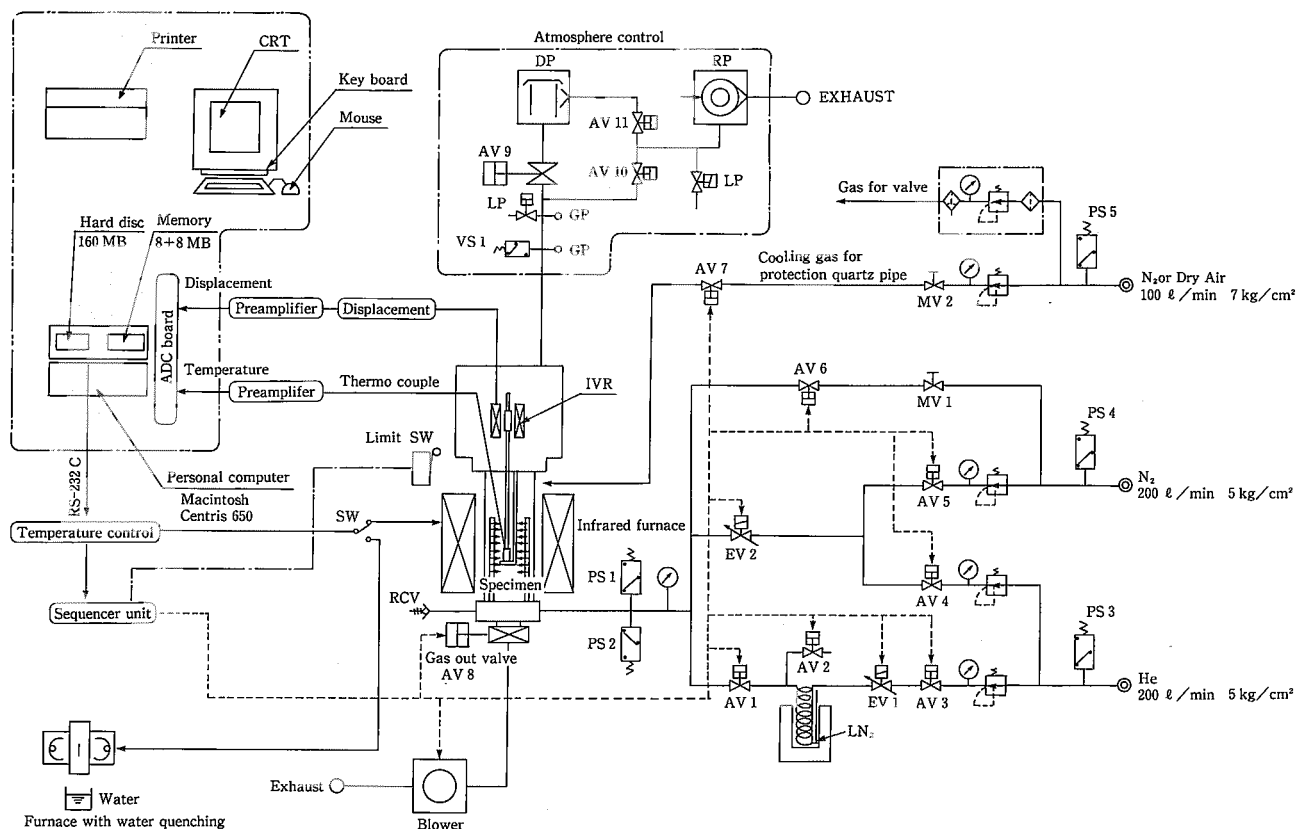
Photo 1 Newly developed apparatus (Named as Transmaster-1)

第1表 自動変態点測定装置仕様

Table 1 Specification of newly developed apparatus

Specification		New apparatus	Our conventional apparatus
Size of specimen		3 $\phi$ $\times$ 10 mm $\ell$ (steel and ceramics)	3 $\phi$ $\times$ 10 mm $\ell$ (Steel only)
Heating	Heating method	Radiant heating by infrared	High-cycle induction heating
	Heat up range	Room temperature $\sim$ 1 450°C (1 850°C)	Room temperature $\sim$ 1 450°C
	Heating rate	MAX. 140°C Without control /sec(room temp. $\sim$ 1400°C Average heating rate) MAX. 100°C Without control /sec(room temp. $\sim$ 1400°C Linear heat up control)	$\leftarrow$
	Accuracy of temperature	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	$\pm 1.0^\circ\text{C}$
Cooling	Cooling method	Gas jet from three parallel nozzles	Gas jet from double coil nozzles
	Cooling gas	N <sub>2</sub> , Ar, He	$\leftarrow$
	Max. cooling rate and accuracy.	MAX. 200°C/sec Without control MAX. 100°C/sec With control	MAX. 200°C/sec Without control MAX. 50°C/sec With control
	Subzero	Standard equipped	Option
Dilatation detector	Dilatation detection method	IVR	$\leftarrow$
	Range	5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05, 0.02 mm	0.5, 0.2, 0.1, 0.05 mm
	Accuracy	$\pm 1.0\%$ / fullscale	$\leftarrow$
Atmosphere	Atmosphere	Vacuum, Inert gas, N <sub>2</sub>	$\leftarrow$
	Exhaust capacity	$1 \times 10^{-4}$ Torr/20 min	$1 \times 10^{-4}$ Torr/15 min
	Final vacuum level	$1 \times 10^{-5}$ Torr	$\leftarrow$

## 製品紹介

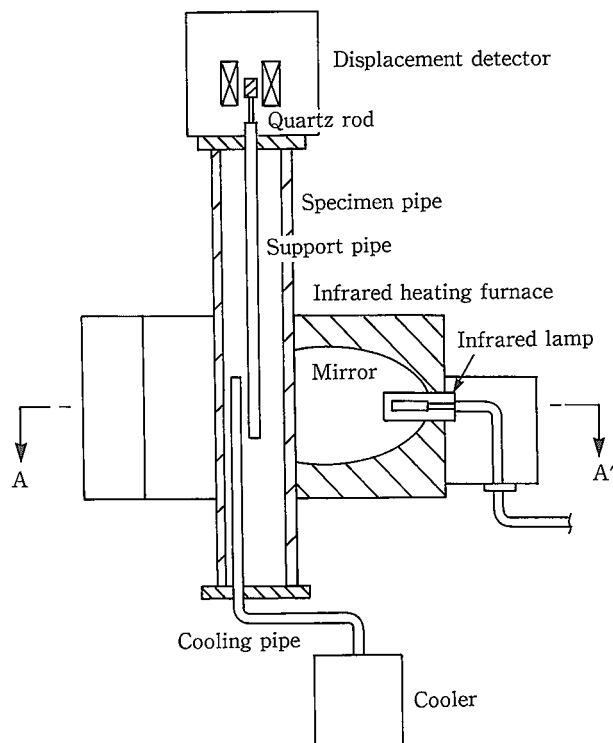


第1図 本体制御系統図

Fig.1 Configuration of control flow

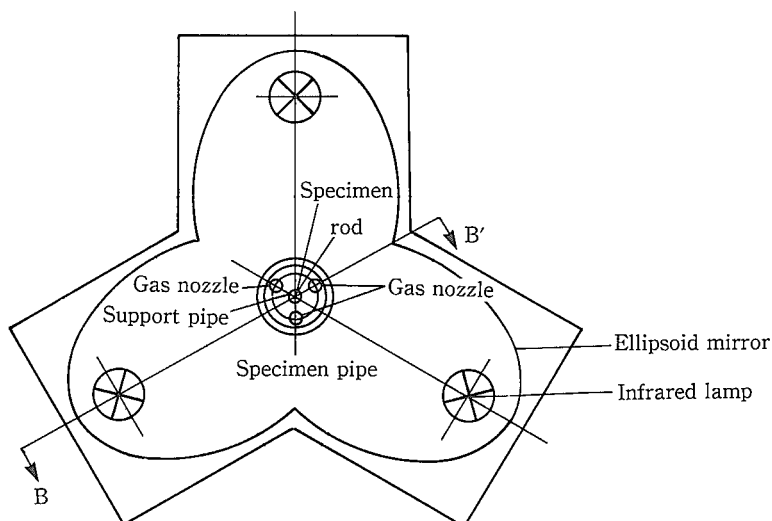
第2図から第4図は試料を加熱冷却する部分の構成と膨張収縮量を測定する部分の構成を示す。試料は三方向から加熱され均一化がはかられている。赤外線ランプの光源の大きさは試料よりやや大きくムラなく加熱が行える。ランプの配置が120°づつずれているので直接ランプ同士が加熱しあうことなく長寿命化がはかられている。

冷却についても三方向から試料を冷却し均一な冷却が得られる構造になっている。試料管・支持管・押し棒はすべて石英製であり試料の膨張収縮量が正確に検出できる構造となっている。



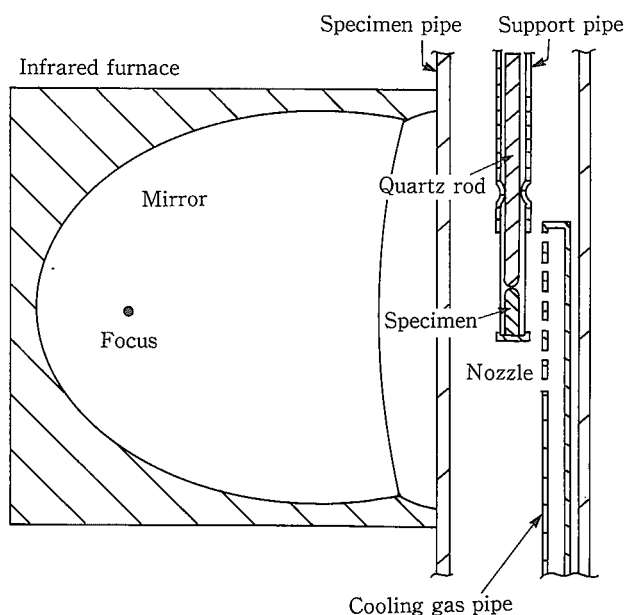
第2図 赤外線加熱部

Fig.2 Vertical cross section of infrared furnace



第3図 赤外線加熱部の断面図(A-A'断面)

Fig.3 A-A' cross section of infrared heater



第4図 赤外線加熱部拡大縦断面図(B-B'断面)

Fig.4 B-B' cross section of infrared furnace

### 3. 装置の制御, データ処理

第2表にコンピュータの仕様を示す。試験条件をもとに装置本体の制御をあらかじめセッティングできるようになっている。一つの曲線図に対し冷却カーブは20本まで登録し処理できるようになっている。第5図は加熱・均熱・冷却条件を登録する画面の一例である。右上のヒートパターン図の中で紫色の直線はコンピュータが試料の温度・収縮量をサンプリングする時間範囲を、赤い直線は冷却ガスが噴出する時間範囲を示している。試験中でも装置本体の状況や試料の温度・膨張収縮量はリアルタイムでCRT画面に表示することができる。

第6図にデータサンプリングの画面と装置本体のすべて

のバルブ・ポンプの開閉状況を表した一例を示す。第7図は初期に設定したヒートパターンに対する実試料温度と温度一伸び曲線をCRT画面に二段に表示した例である。このように試験中でも得られているデータの状況がリアルタイムで把握でき試験の正確さと効率の向上にきわめて有効なシステムとなっている。

第8図はCCT曲線図の変態点を決定する方法を示した図である。まず得られた冷却カーブの中から1つ選び出し温度一伸びの曲線を微分することにより計算され変態点の温度が求められる。変態点は人為介入によっても決定できるようになっている。

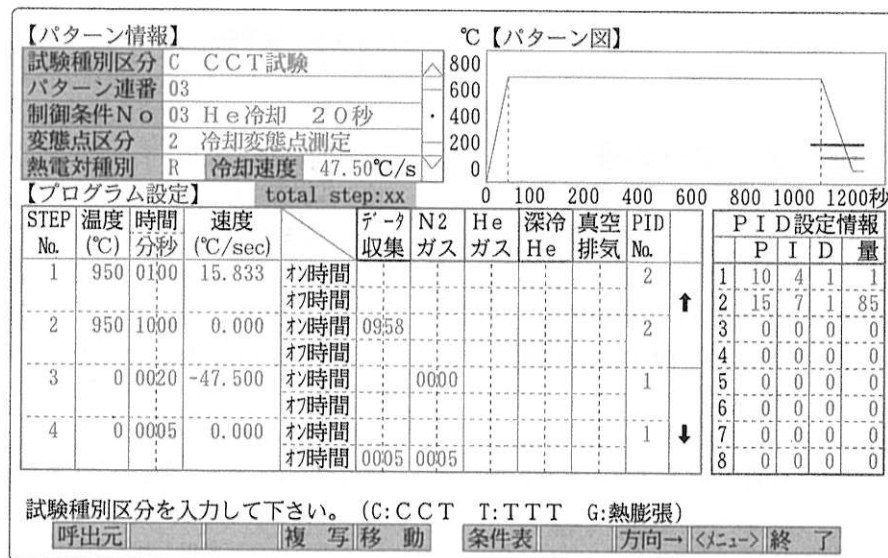
このようにして得られるすべての冷却曲線の変態点解析を行い最終的に第9図のCCT曲線図がCRT上に表示できる。

## 製品紹介

第2表 自動変態点測定装置データ処理仕様

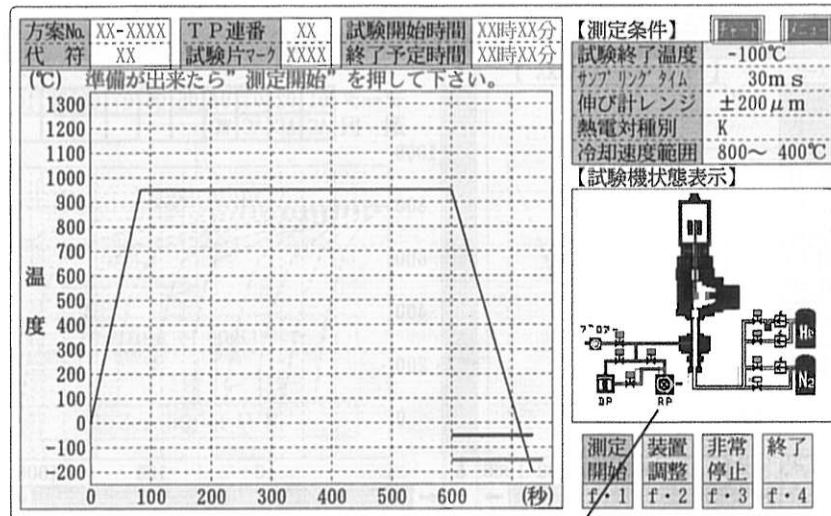
Table 2 Specification of soft ware

Item	New apparatus	Our conventional apparatus
Items of data base	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Testing No. ● Purpose</li> <li>● Material ● Testing condition</li> <li>● Result</li> </ul> Display each item, if requested	—
Registration of testing condition	60 patterns (pop-up display)	—
Data sampling	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sampling method: direct sampling into computer</li> <li>● Sampling points: Max. 50 000 points/channel</li> <li>● Sampling pitch: 12 bit, sampling time 20 us~1 min</li> <li>● Memory medium: Hard disc</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sampling method: Date logger</li> <li>● Sampling points: Max. 4 000 points/channel</li> <li>● Sampling pitch: 12 bit</li> <li>● Memory medium: Floppy disc</li> </ul>
Display of data	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Real time display while data sampling (Temperature-time, Dilatation-temperature diagram)</li> <li>● Display of on-off of valves and pumps)</li> </ul>	● Display after finishing data sampling
Tools for analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Function of detection of transformation point by differentiation</li> <li>● Function of CCT image display</li> <li>● Function of prediction of transformation point</li> <li>● Function of automatic cooling rate calculation</li> </ul>	● Function of detection of transformation point by differentiation
Diagram	Out put device: laser printer Print out time : 15 sec / diagram Result : CCT diagram, TTT diagram Dilatation-temperature diagram Dilatation-temperature-time diagram Hardness-cooling rate diagram Formatted paper for microstructure photos	Out put device : X-Y plotter Out put time : 10 min / diagram Result : CCT diagram, TTT diagram

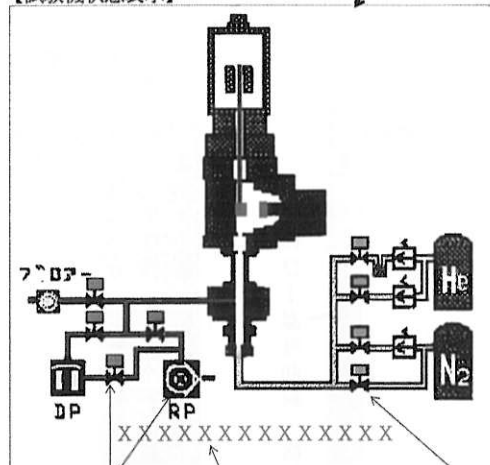


第5図 ヒートパターン設定画面

Fig.5 CRT display of setting up heat pattern



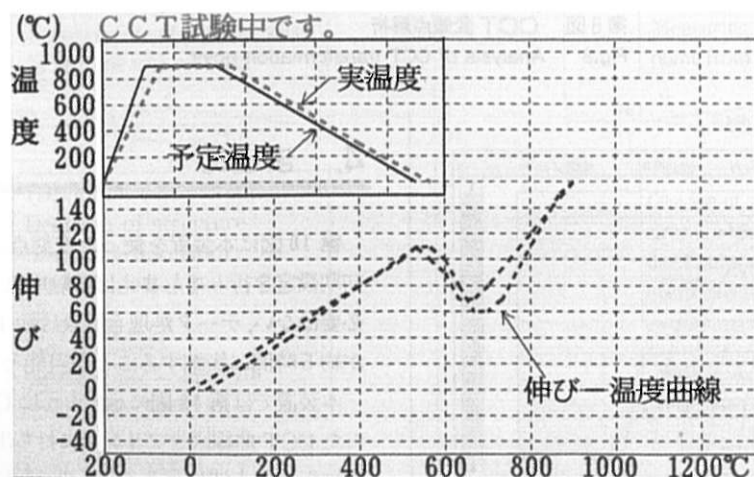
【試験機状態表示】



真空系バルブ開閉      冷却ガスバルブ開閉状態表示 (ONは赤で表示)  
 ポンプON, OFF状態表示 (ONは赤で表示)

第6図 データサンプリング画面

Fig.6 CRT display of data sampling and gas flow system



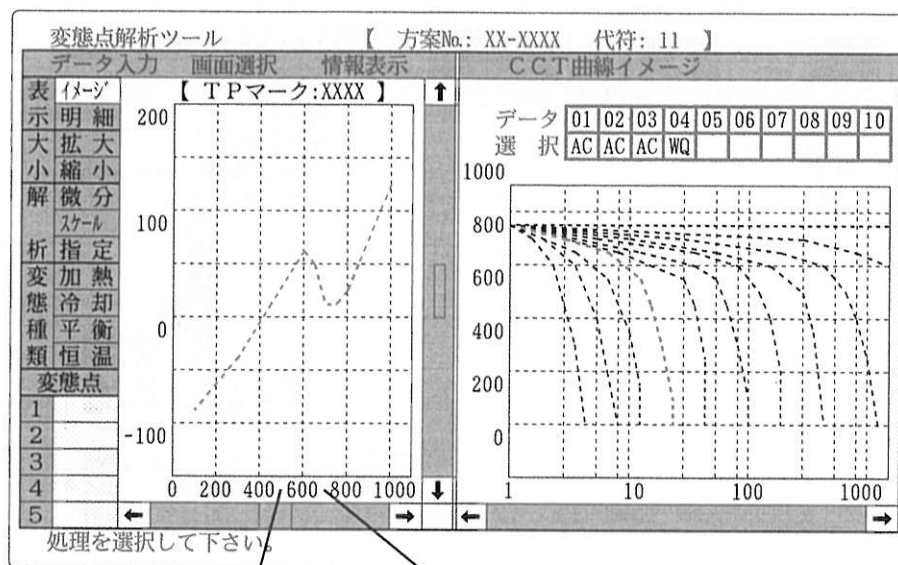
ダブル表示指定時のサンプリングデータリアルタイム表示 (CCT)

第7図 データサンプリング画面

Fig.7 Data sampling display of dilatation and actual temp.

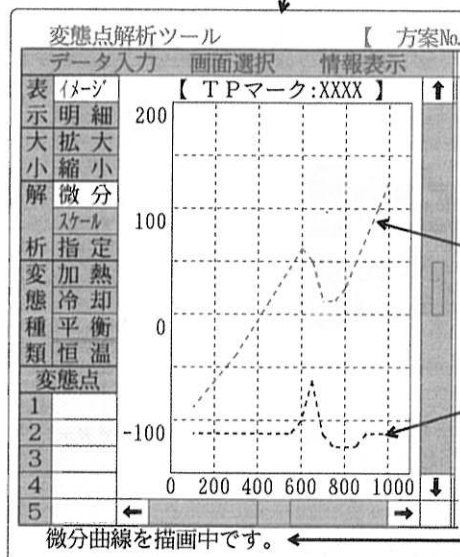


## 製品紹介



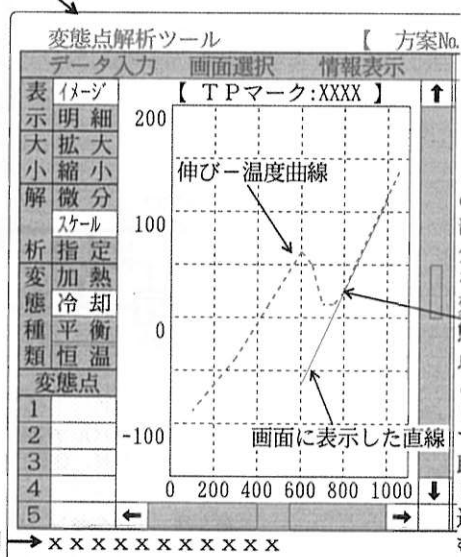
微分表示

変態点取り込み

伸びー温度曲線  
微分曲線

微分曲線を描画中です。

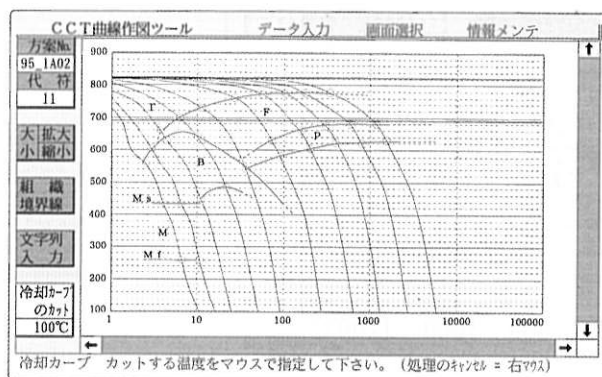
メッセージ欄



この部分を変態点として取り込む

第8図 CCT変態点解析

Fig.8 Analysis of CCT transformation point



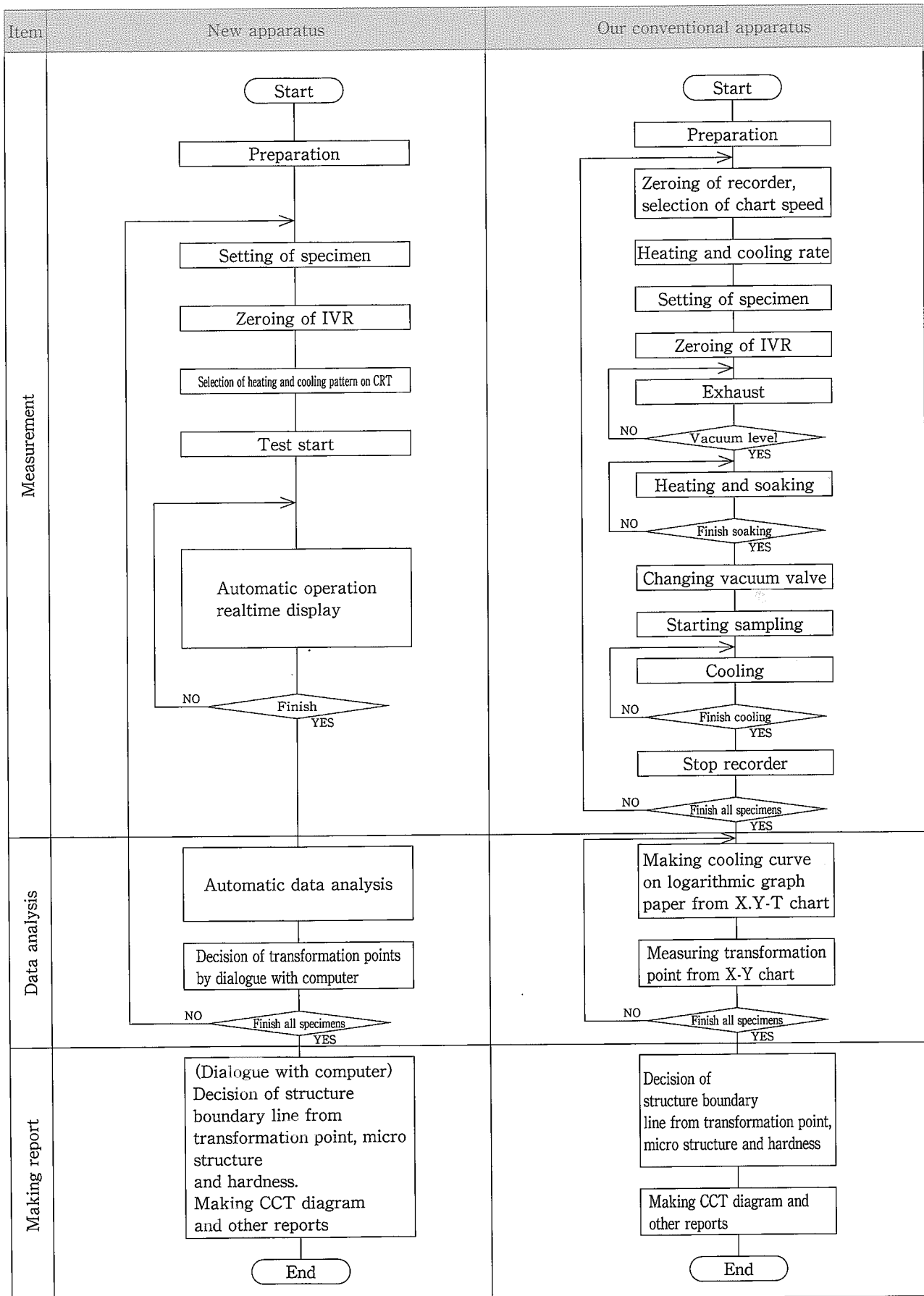
第9図 CCT曲線図作成

Fig.9 CRT display of CCT diagram

## 4. まとめ

第10図に本装置を使った変態点測定作業フローを示す。初期設定を行ってしまえば試験中は全く装置に手をふれる必要はない。データ処理も従来は約19時間かかっていたのが約5時間に短縮することが可能となった。

本装置では第12図に示すようにCRT画面上でできあがったCCT曲線図をプリンタに打ち出せば完了となる。第11図に従来の方法によるCCT曲線図を示すがX-Yプロッタで作図した後組織境界線や記号の記入等煩雑な作業を行う必要がある。



第 10 図 変態点測定作業フロー

Fig.10 Process of transformation point measurement

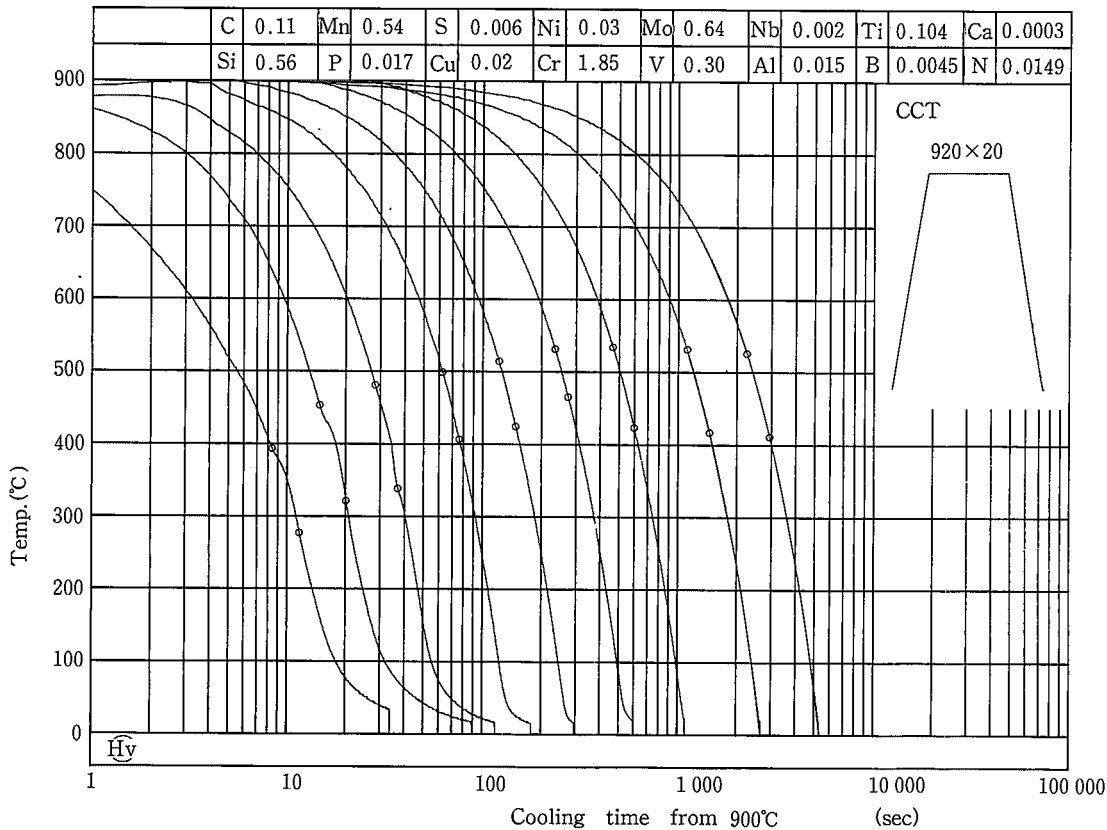


製品紹介

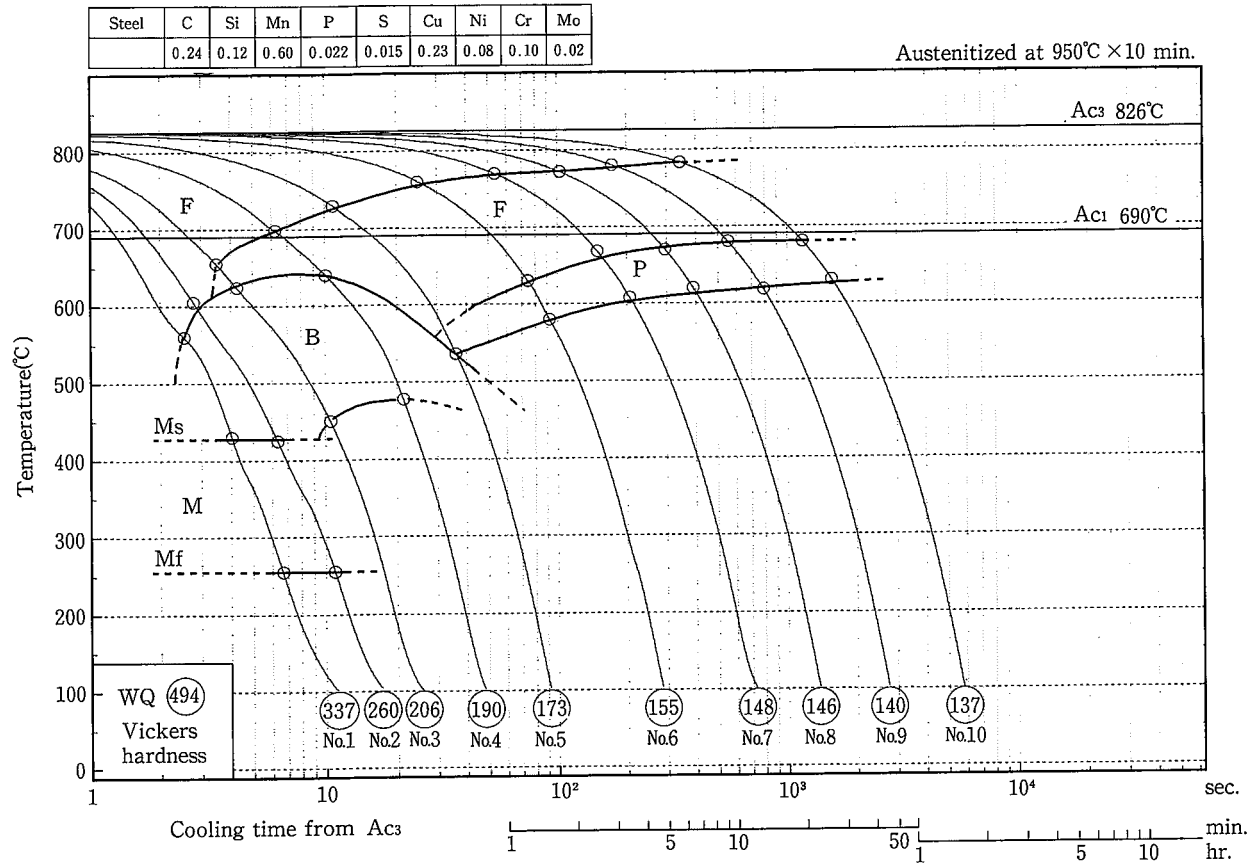
この開発の結果、次の特徴をもつ装置が完成できた。

- (1)従来装置の2倍の直線冷却速度 100℃／秒，最大 200℃／秒の高速冷却の測定が可能となった。
- (2)従来装置では熱膨張曲線から1枚の CCT 曲線図を作図するのに熟練技術者で約 19 時間の時間を要したか、パソコンによるコンピュータ処理化により約5時間／件と約 1/3 に時間短縮が可能となった。
- (3)従来装置では人手によるデータ解析のため人為誤差が避けられなかったが、本装置ではそれがほとんど皆無になった。

- (4)試料の初期設定など測定上の調節作業はモニター画面を見ながら設定できるので測定作業が容易になった。
- (5)従来装置は鉄鋼のみしか測定できなかったが本開発装置では鉄鋼以外の金属合金、セラミックス材料についても同様の熱膨張・収縮測定に利用できる。
- (6)室温以下の低温の変態点のあるステンレス鋼も測定できるようにサブゼロ処理用の装置を標準装備とした。
- (7)従来装置は高周波誘導加熱方式による電波ノイズが環境障害の問題となっていたが赤外線イメージ炉の採用で解決された。



第 11 図 従来機による作図例(X-Y プロッター出力，サイズ A3)  
Fig.11 CCT diagram by our conventional transformation measurement apparatus(X-Y plotter， Size A3 only)



第 12 図 自動変態点測定装置による作図例(レーザープリンター出力, サイズ A 4, B 4, A 3)

Fig.12 C.C.T. diagram by new transformation measurement apparatus (Laser printer, size A4 or B4 or A3)

問合せ先  
住友金属テクノロジー㈱  
鹿島事業部 技術部長  
☎ 0299(84)2565 番

## 参考文献

- 1) 番 博道: 材料とプロセス, 9(1996) .p.453