

材料面より見た日本における蒸気タービンの 容量と蒸気状態について

A Study on the Capacity and Steam Conditions for
the Steam Turbines in Japan in Relation to the Materials Used

横 田 一 郎*

内 容 梗 概

最近蒸気タービンは次第に高温、高圧、大容量となりつつあるが、国内で製作し得るタービンの限度を材料の面から考えて見た。これらの温度、圧力、容量の制限のうちで最も技術的に困難な問題は温度の問題である。

日立製作所では高温用材料の問題について種々の研究および検討を行ってきたが、結論的には主蒸気管ケーシング材としては Cr-Mo-V 系統のもの、タービン翼材、ボルト材には 12Cr-Co-W-V あるいは 12Cr-Mo-W-V を用いれば 150,000 kW, 126 atg (1,800 psi), 538°C (1,000°F) の Reheat Turbine は日立製作所において十分製作の自信を有しており、さらにオーステナイト系の材料を用いなくても 566°C (1,050°F) までは製作可能である。

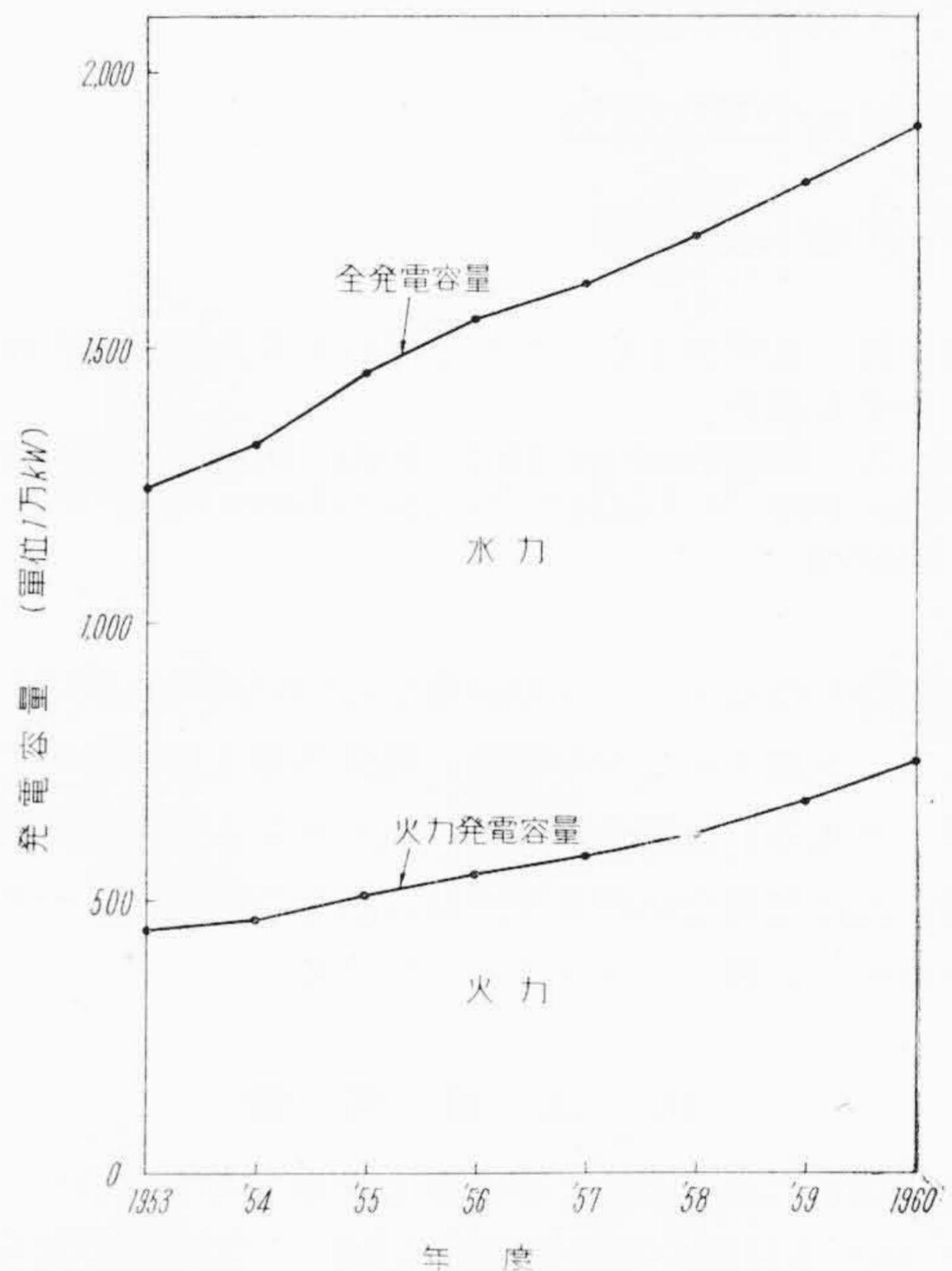
〔I〕 緒 言

我国の電力量は今後の工業の発展を考えると未だ十分とはいえず、現在の発電容量の 1,240 万 kW は 1958 年には約 1,700 万 kW に 1960 年には 1,900 万 kW に増大することが予想されている。また一方、従来の開発は水力中心であつたものが今後残された有利な開発地点がほとんどないためその重点はしだいに火力に移りつつある。また原子力発電が広く実用に供せられるようになった際これに用いられる原動機は蒸気タービンであることを考え合わせると今後の蒸気タービンはますます大容量、高能率のものが必要となってくる。第 1 図は 1953 年より 1960 年までの電力量の予想曲線であるが、水力と火力の割合は 1953 年には約 70 : 30 であつたものが 1960 年には 60 : 40 となりその割合はしだいに接近して行き 1960 年には火力発電容量は 750 万 kW に達するものと考えられる。

第 2 図 (次頁参照) はタービン入口の蒸気圧力および温度の上昇による熱効率の上昇を示した表であるが、これによりわかるように圧力の上昇に対しての熱消費率の減少する割合は急激に低下してゆき、たとえば圧力が 130 atg より 142 atg になつた場合の熱消費率の減少は 0.5% にすぎないが温度の上昇に対しては 566°C より 593°C に上昇した場合になお 1.2% の熱消費率の減少を示しており、蒸気温度の上昇に対してはなお今後発展の余地が残されていることがわかる。

また一方、蒸気圧力および温度の上昇の過程を考えて見るに、第 3 図 (次頁参照) および第 4 図は GE 社における蒸気圧力および温度の発展を示したものであるがこれよりわかるように圧力は 12 年ごとに倍となつていくが温度の上昇は 1 年間に 12°F にすぎない。これは蒸気の

* 日立製作所日立工場



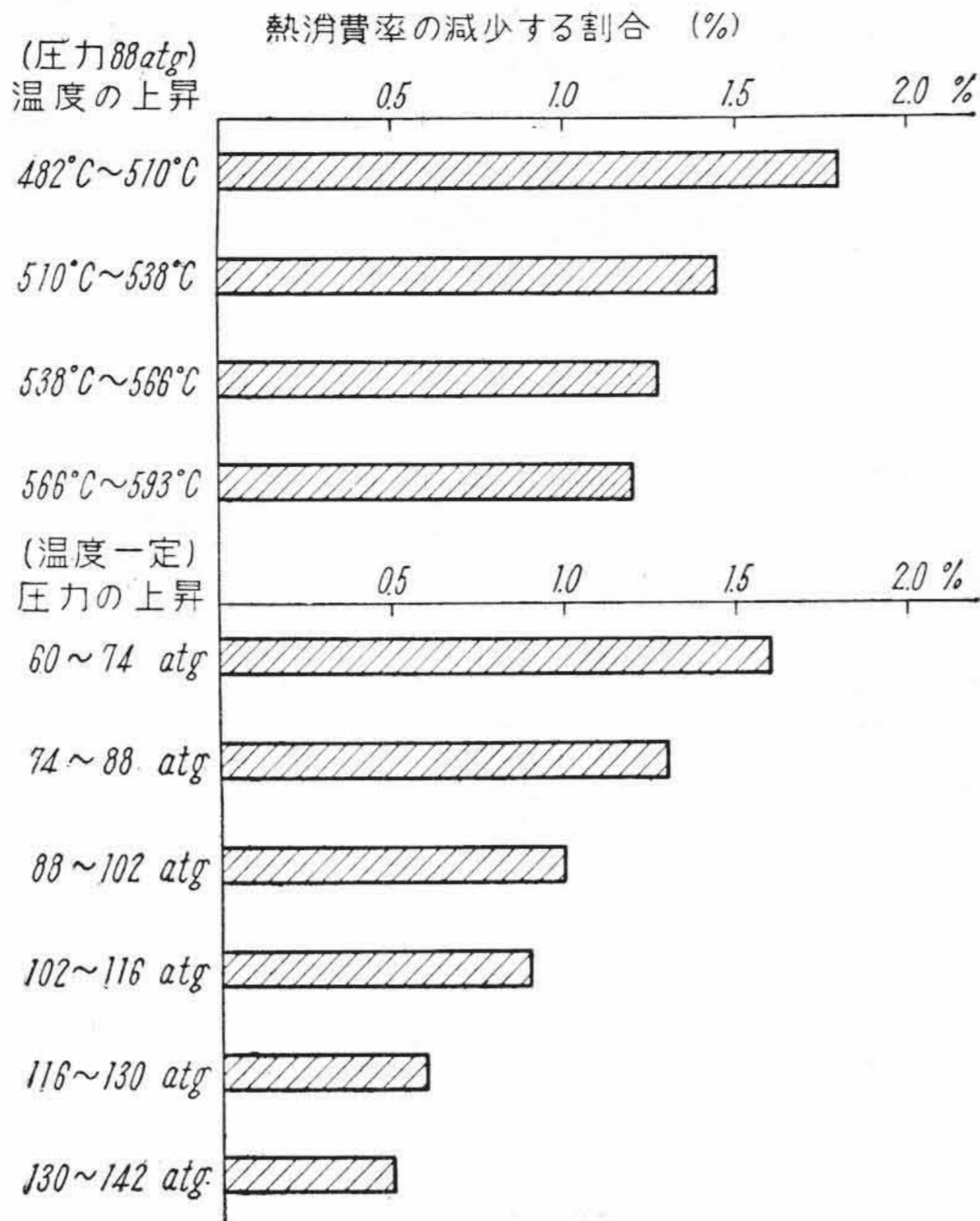
第 1 図 日本における 1953 年より 1960 年までの発電容量の増加予想曲線

Fig. 1. Estimated Increase in Electrical Capacity in Japan by 1960

温度を上昇させることの困難性を示している。

すなわちタービンの効率上昇に対しては蒸気温度を上げる余地が十分残つていながら高温材料に対する技術的困難のため現在の段階に止まつていることがわかる。

現在米国におけるユニットの最大容量は 265,000 kW であり、また蒸気状態における最高は 4,500 psi, 1,150°F に達しており、このような大容量高温高圧のユニットが製作されるようになったのはタービンの材料の進歩によるところが非常に大きい。最近我国でも漸く大容量高温高圧のタービンが製作されるようになってきたが現在国

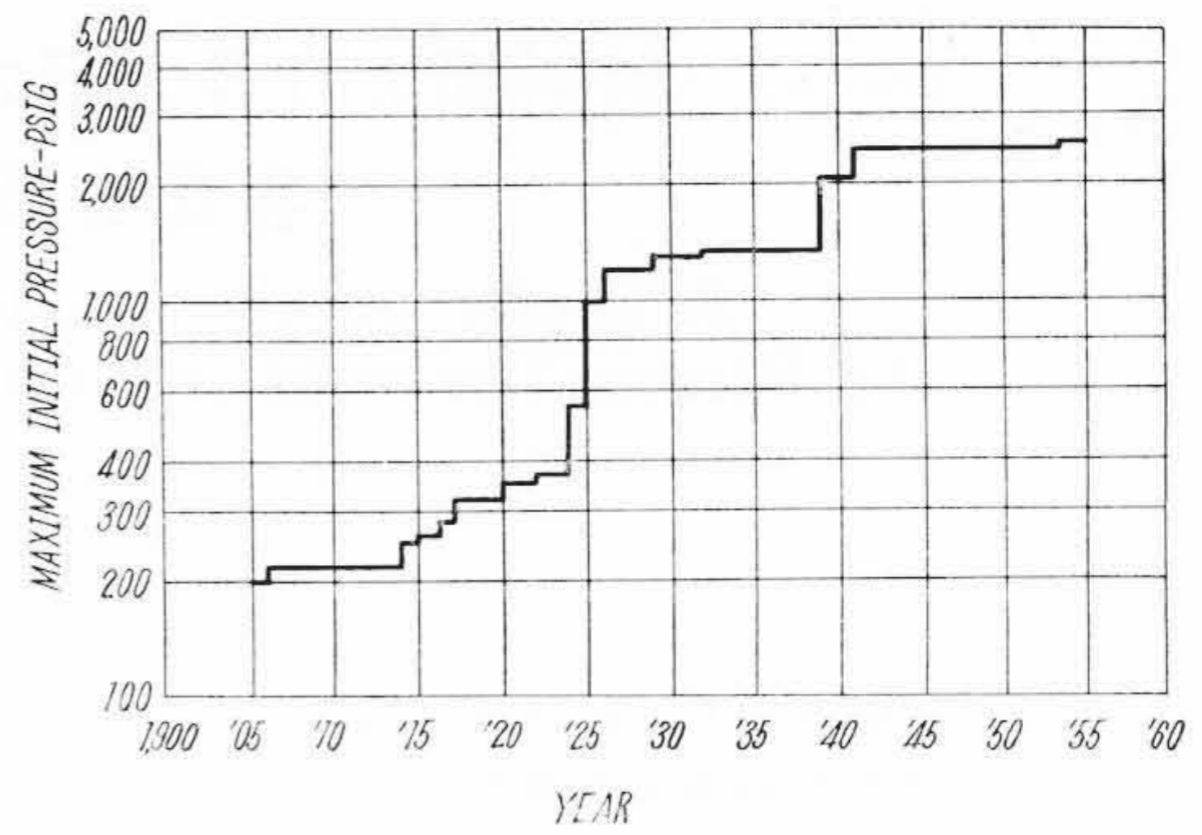


第2図 温度および圧力の上昇による熱消費率の減少する割合
 Fig. 2. Decrease in Heat Rate Obtainable by the Use of Higher Temperatures and Pressures

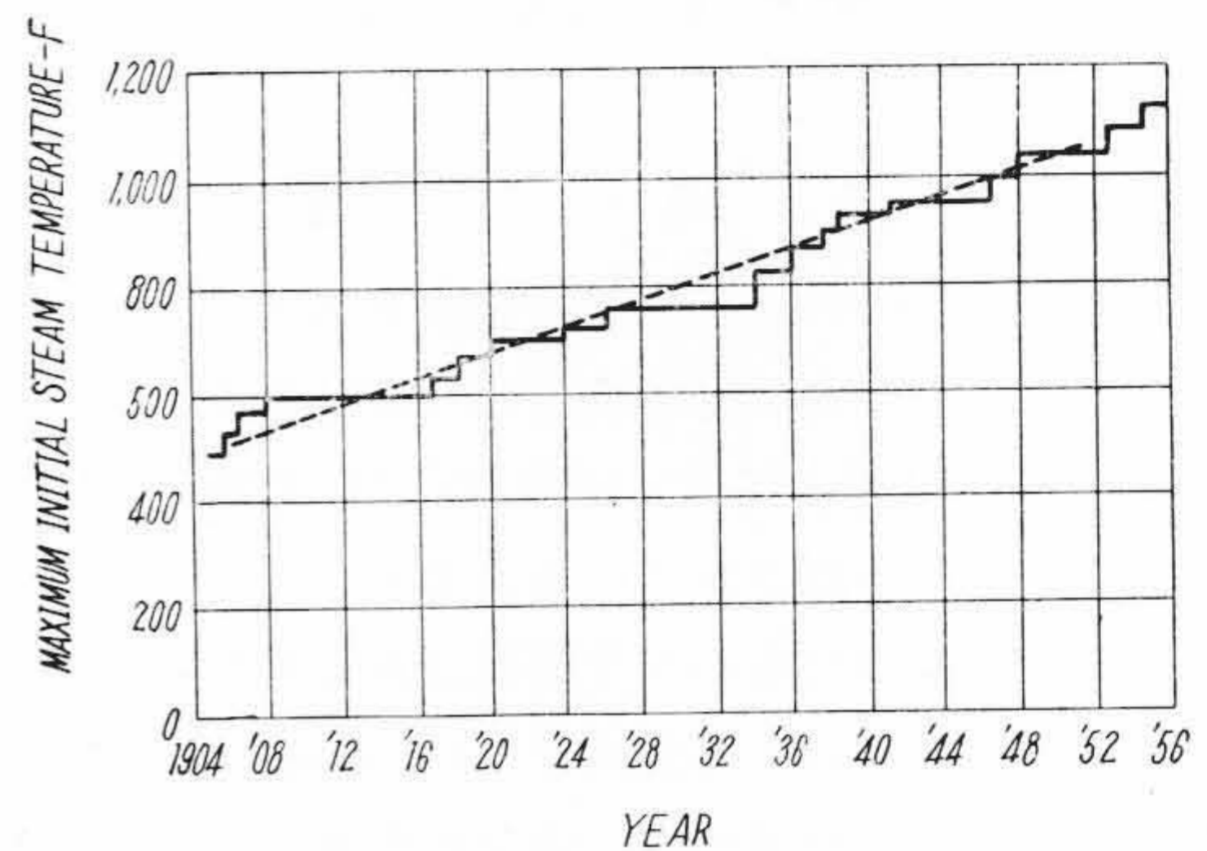
産で製作し得るタービンの限度を材料の面から検討して見よう。勿論タービンの容量、蒸気状態を論ずる場合にはボイラあるいは給水ポンプ、ヒータなどの問題も同時に考えねばならないが本文ではこれらの問題をタービンの材料のみに限って考えることにする。

〔II〕主蒸気管

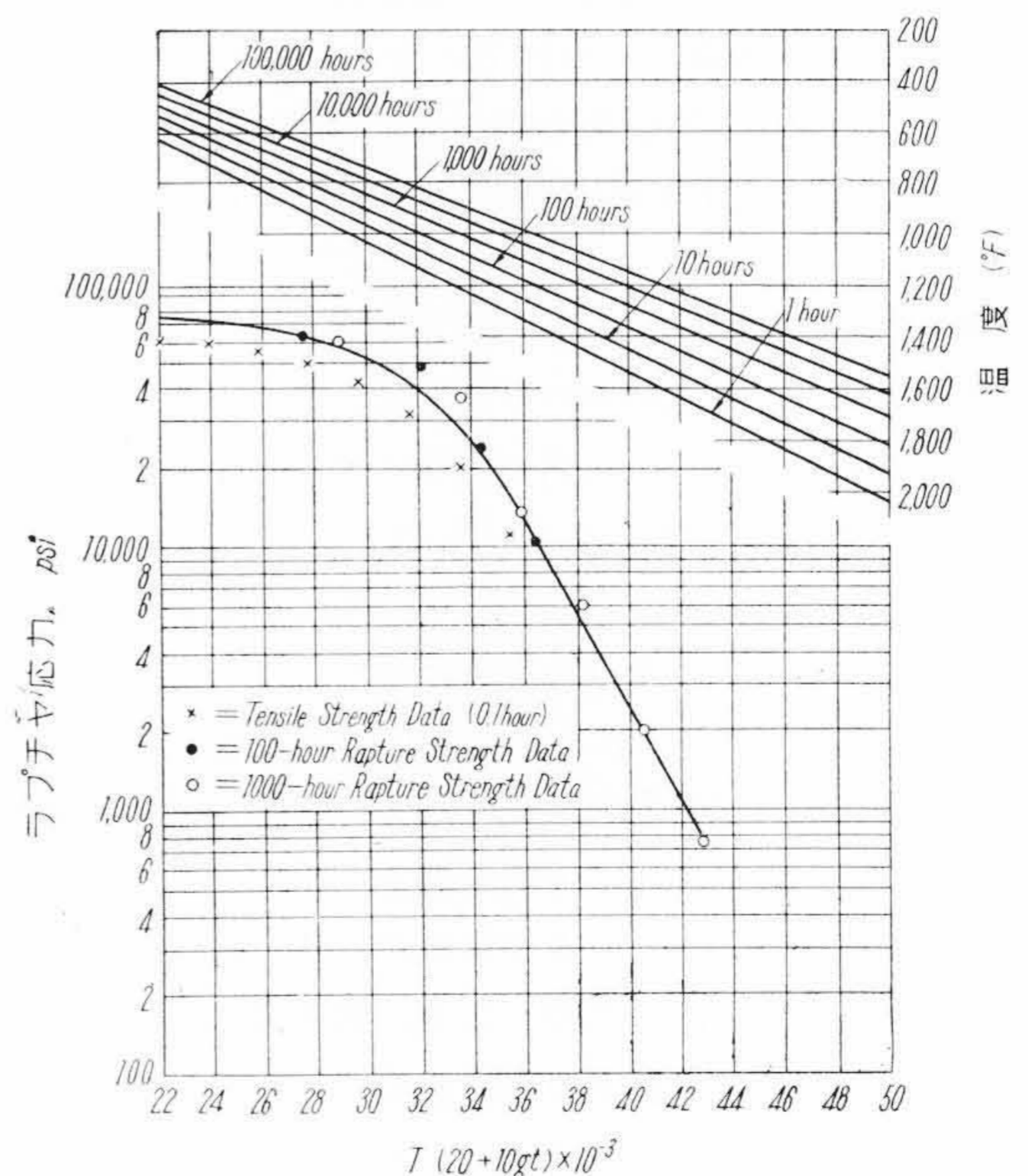
主蒸気管は最も高温に曝される部分であるためその高温における材料の諸性質が特に良好でなければならない。従来主蒸気管材としては高温になるほど Cr および Mo の量の多いものが用いられてきたが、これは Cr および Mo の増加により高温のクリープ強度を増加させること、また Cr の増加により材料の Graphitization あるいは Scaling に対する耐久性を増加させる意味であつた。一般に高温主蒸気管の強度は 100,000 時間に 1% の伸でクリープ強度を規定してきているがこれはかならずしも蒸気管のごとき部分に対してその強度を適格に示しているものとはいえない。すなわちタービンの回転部分のごとく非常にわずかの伸のために接触のおそれのあるようなものに対しては 1% の伸を強度の限界とするのも一つの方法ではあるが、蒸気管の場合にはかならずしも妥当なものとはいえない。GE 社の A.W. Rankin 氏はこの点を特に指摘しており GE 社においては 100,000 時



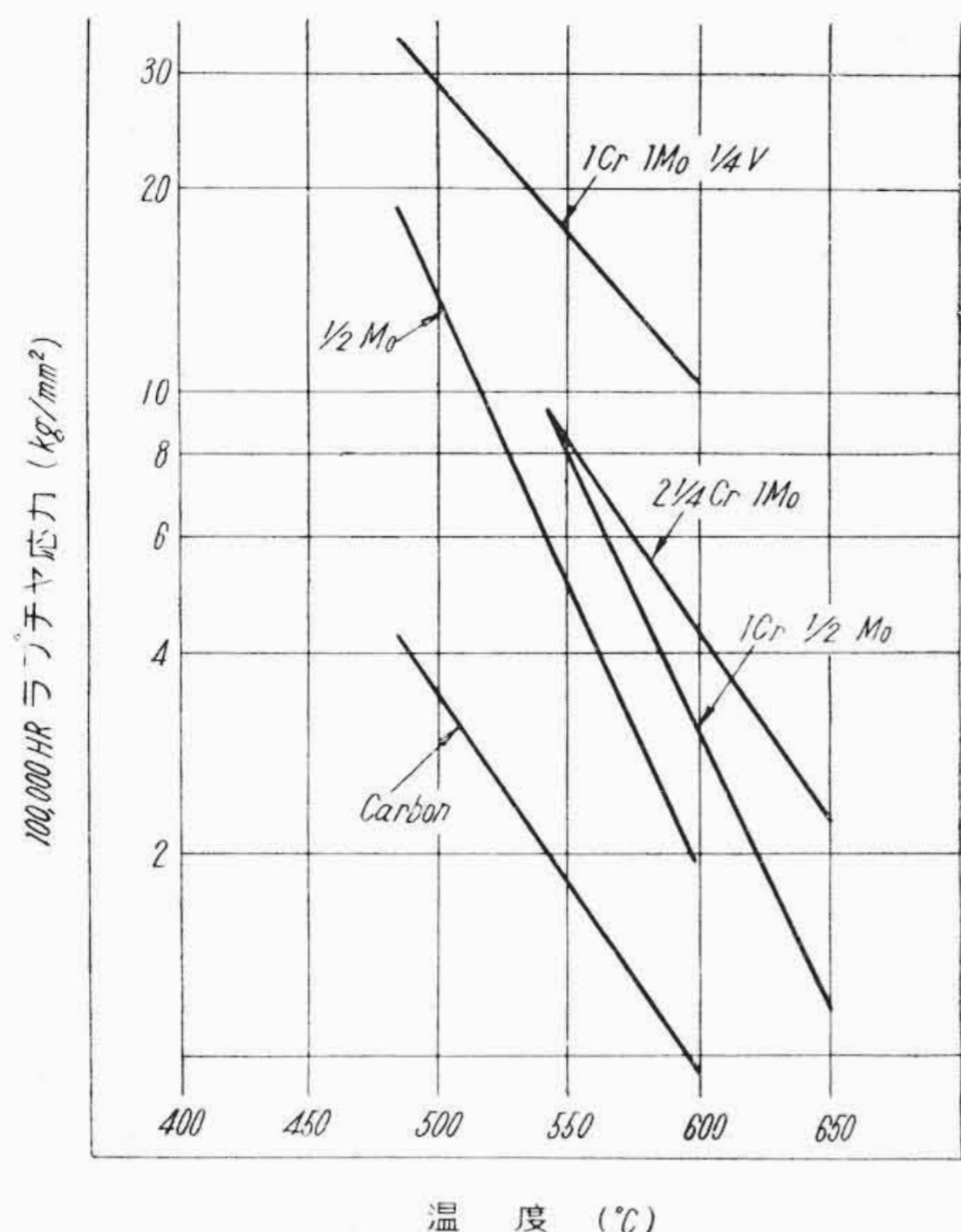
第3図 GE社における1905年より1955年までの最高蒸気圧力
 Fig. 3. Maximum Initial Steam Pressures Used in GE Turbine



第4図 GE社における1905年より1955年までの最高蒸気温度
 Fig. 4. Maximum Initial Steam Temperature Used in GE Turbine

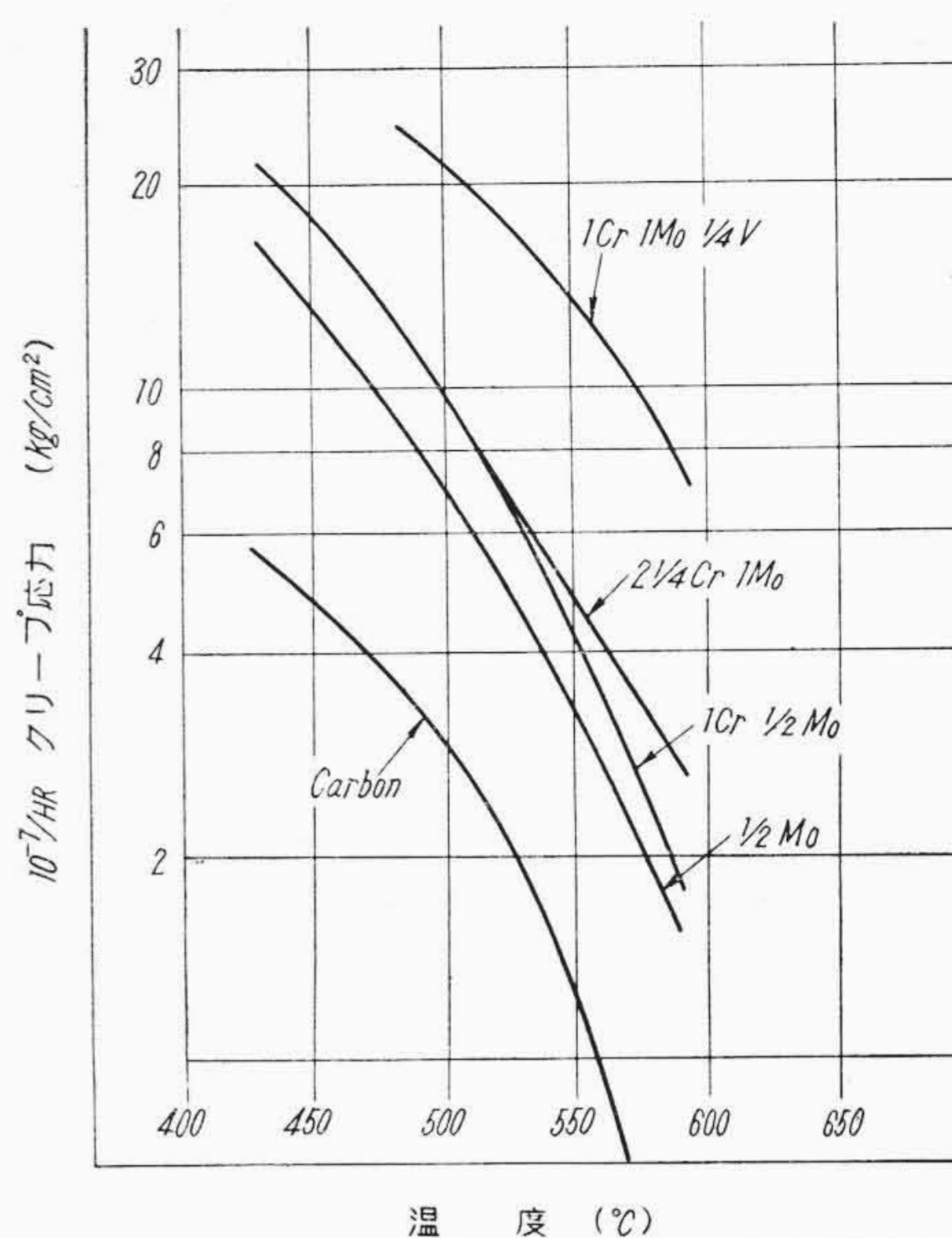


第5図 Cr-Mo 鋼のラプチャ応力曲線
 Fig. 5. Rupture Stress Curve of Cr-Mo Steel



第6図 主蒸気管材料の高温における100,000時間ラプチャ応力

Fig. 6. 100,000h Rupture Stress of Main Steam Piping Material at High Temperature



第7図 主蒸気管材料の高温における10⁻⁷/h クリープ応力

Fig. 7. 10⁻⁷/h Creep Stress of Main Steam Piping Material at High Temperature

間に1%の伸ではなく100,000時間のラプチャ応力を基礎にして蒸気管の強度を決定している。この100,000時間のラプチャ試験を実際に行おうとすると連続して10年以上の試験を行わねばならないので実際にはもつと短時間の試験を行って100,000時間のラプチャ強度を推定するのであるがこれに対してはつぎのような方法が用いられている。すなわち各種の温度と時間におけるラプチャ強度を一つの函数 $T(a + \log t)$ で表わせればラプチャ強度は温度、時間のいかんにかかわらず一つの曲線で表示される。ここに T は絶対温度 $^{\circ}F$, t は時間である。第5図はCr-Mo鋼のラプチャ応力曲線の一例を示したものである。

主蒸気管材料として初期の頃は炭素鋼が用いられてきたが使用蒸気温度が上昇するにつれMo鋼あるいはMo-V鋼が用いられるようになった。米国においてはMo-V鋼は950 $^{\circ}F$ あるいは1,000 $^{\circ}F$ にまで使用されるようになったがその後1949年に主蒸気管の破壊する事故があったため、種々の研究の結果これは材料のGraphitizationのためであることがわかり、その後はCrが加えられるようになった。CrはGraphitizationを防止するには有効であるがしかし溶接性の困難が伴うのでその量は最低に抑えることが望ましい。またCrを増加してもかならずしも高温強度はそれに伴わない。むしろCrは1%程度に抑えてVを加え材料はAnelのままではなく、Normarize Temperをして用いることの方が

第1表 主蒸気管材料の温度による使用区分
Table 1. Classification of Main Steel Pipe Materials by Temperature Range

主蒸気温度 ($^{\circ}C$)	主蒸気管材料
399 以下	炭素鋼
400~440	1/2 Mo 鋼
441~510	1 Cr 1/2 Mo 鋼
511~538	1 Cr 1 Mo 1/4 V あるいは 2 1/4 Cr 1 Mo 鋼
539~566	オーステナイト鋼あるいは 1 Cr 1 Mo 1/4 V 鋼
567 以上	オーステナイト鋼

有効である。第6図および第7図は管用の炭素鋼、1/2Mo鋼、1 1/2 Cr-1/4 Mo鋼、2 1/4 Cr-1Mo鋼および1 Cr-1Mo-1/4V鋼の高温におけるラプチャおよびCreep強度を示したものである。これによるとわかるように1Cr-1Mo-1/4V鋼は2 1/4Cr-1Mo鋼よりはるかに高い高温強度を有しており、また製作も容易であり溶接性も良好であるので今後の高温高圧用として国内でも十分製作し得るものである。

第1表はGE社において推薦している主蒸気管の材料と使用範囲を示している。すなわち750 $^{\circ}F$ (399 $^{\circ}C$) 以下は炭素鋼を751 $^{\circ}F$ ~825 $^{\circ}F$ (440 $^{\circ}C$) に対しては1/2Moを826 $^{\circ}F$ ~950 $^{\circ}F$ (510 $^{\circ}C$) に対しては1Cr-1/2Moを使用している。ここまではすでに我国でも製作済であるので問題はない。つぎに951 $^{\circ}F$ ~1,000 $^{\circ}F$ に対しては1Cr-1Mo-1/4Vあるいは2 1/4Cr-1Moを用いているが、1Cr-1Mo-1/4Vの方が優秀な高温性質を有していることはすでに述べた通りである。さらに蒸気温度が1,001 $^{\circ}F$ より1,050

°F (566°C) になった場合には、米国でも初期においては 18Cr-8Ni に安定剤として Cb を加えた Type 347 のオーステナイト鋼が使用されていたが 1Cr-1Mo-1/4V の出現するにおよんで 1,050°F まではフェライト系の材質で十分であることが立証され現在では、しだいにフェライト系に移りつつある。

第8図は日立製作所において行われた各種の熔着鋼のクリープ限の数多くの Data を統系的に表にしたものであるがこれによつてもわかるように Cr の多いものよりも 1Cr-1Mo-1/4V 系のものの方がはるかに良好な高温性質を有していることがわかる。

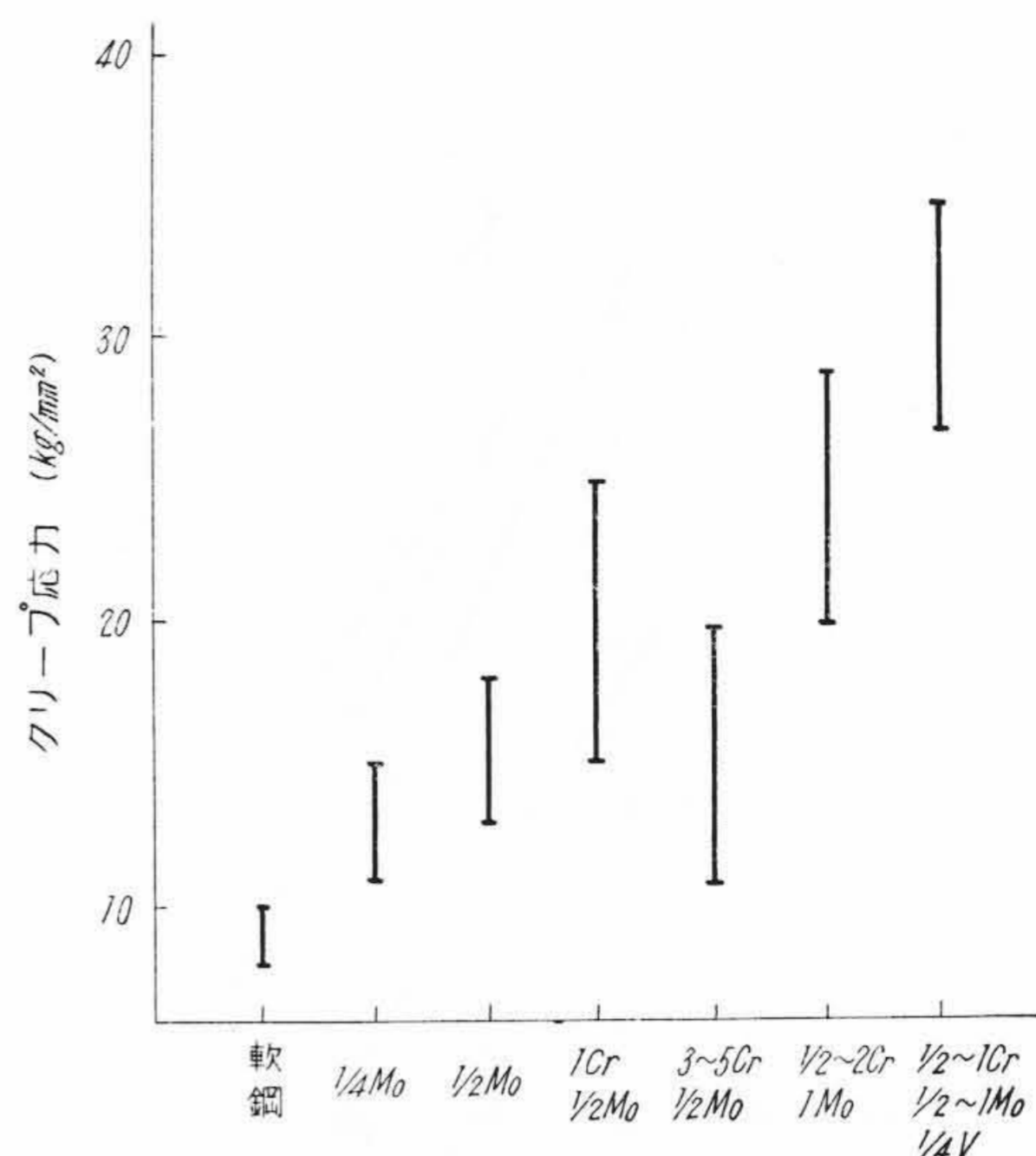
以上の点より考えて我国の現状ではオーステナイト系の蒸気管を使用することは非常に建設費が高価となりまた製作および熔接の困難であることよりまだ研究の余地が残されており、1,050°F (566°C) までであれば 1Cr-1Mo-1/4V を使用すれば適切なる蒸気管の設計と熔接作業を伴えば実現可能であると考えられる。

〔III〕タービンケーシング等

蒸気管について高温になるのは主塞止弁、リヒートストップバルブ、インターセプトバルブなどのボディおよびケーシングなどの材料である。我国においても鑄鋼ケーシングなどの Crack の問題が相当起つているが、この原因の大部分は鑄造時の Crack に起因していることがわかつている。これに対しては鑄造品はできるだけ簡単な構造として鑄造しやすくすると同時にまた検査のやりやすい形状にすることが望ましい。すなわちケーシングで最も形状の複雑となるのはスチームチェストの部分である。これに対してはスチームチェストを上下に分割して熔接により一体とする構造がとられている。したがつて蒸気温度が高くなるにつれて材料は高温強度が高いと同時に熔接性の良好なものであることが必要である。

第2表は日立製作所におけるタービンケーシング材の使用標準を示したものである。すなわちタービン入口蒸気温度が 315°C 以下は炭素鋼、316°C~440°C は 1/2Mo 鋼を用いる。441°C~510°C に対しては 1Cr-3/4Mo または 1Cr-1Mo を、511°C~538°C には 1Cr-3/4Mo-1/4V を使用する。539°C 以上になると従来はオーステナイト系が用いられていたが最近では米国でも 1Cr-1Mo-1/4V が用いられるようになっており日立製作所としても 1Cr-1Mo-1/4V を標準としている。567°C 以上になるとオーステナイト系を用いねばならない。

GE 社においても従来はケーシング材に Mo-V 鋼を用いていたが最近では Graphitization の防止のため Cr を加えているがその量は最低量に抑えている。すなわち 511°C~538°C 用の材料として 1Cr-3/4Mo-1/4V を用い



第8図 各種熔着鋼の 500°C におけるクリープ応力
Fig. 8. Creep Stress of Deposit Metal at High Temperature

第2表 タービンケーシング用材料の温度による使用区分

Table 2. Classification of Casing Materials by Temperature Range

主蒸気温度 (°C)	ケーシング用材料
315 以下	炭素鋼
316~440	1/2 Mo 鋼
441~510	1 Cr 3/4 Mo 鋼あるいは 1 Cr 1 Mo 鋼
511~538	1 Cr 3/4 Mo 1/4 V 鋼
539~566	1 Cr 1 Mo 1/4 V 鋼あるいはオーステナイト鋼
567 以上	オーステナイト鋼

ていることは注目に値する。すなわち Cr は 1% あれば Graphitization 防止には十分でありこれに製鋼の際 Al による脱酸を行わぬことを条件としている。すなわち Cr を加える意義は Graphitization 防止の意味であり高温強度は Cr の量にはよらず 2 1/2Cr-1Mo 鋼よりも Cr を 1% にした Cr-Mo-V 鋼の方が高温強度が高いことはパイプ材と同様である。

日立製作所において先に製作せられた東京電力株式会社鶴見第二発電所および新東京発電所に納入した 66,000 kW タービンケーシングには、特に 511°C~538°C 用の材料である 1Cr-3/4Mo-1/4V を使用したが、これを製作するに当つては 1/2Mo, 1Cr-3/4Mo, 1Cr-1Mo, 2 1/4Cr-1Mo, 1Cr-3/4Mo-1/4V, 1Cr-1Mo-1/4V などの材料についてその鑄造、熱処理、高温強度、熔接性などについて十分検討を加え研究所の実験のみならず日立製作所の原料工場で大物モデルを製作しこれらの研究を行つた。

高温で良好な機械的性質を得るためには材料は Normalize Temper が行われるがこの際に最良の熱処理温度および時間は第9図に一例を示したような S 曲線を求

めこれを基にして定められる。

高温の Normalize を行う目的はオーステナイトの Carbide 合金の完全な Solution を作る目的であり、これによつて高温における機械的性質を得るに必要な時効性をもたせることができた Temper を行う目的は低温における靱性を失うことなく高温におけるクリープあるいはラプチャ強度の高いものを得ることにある。

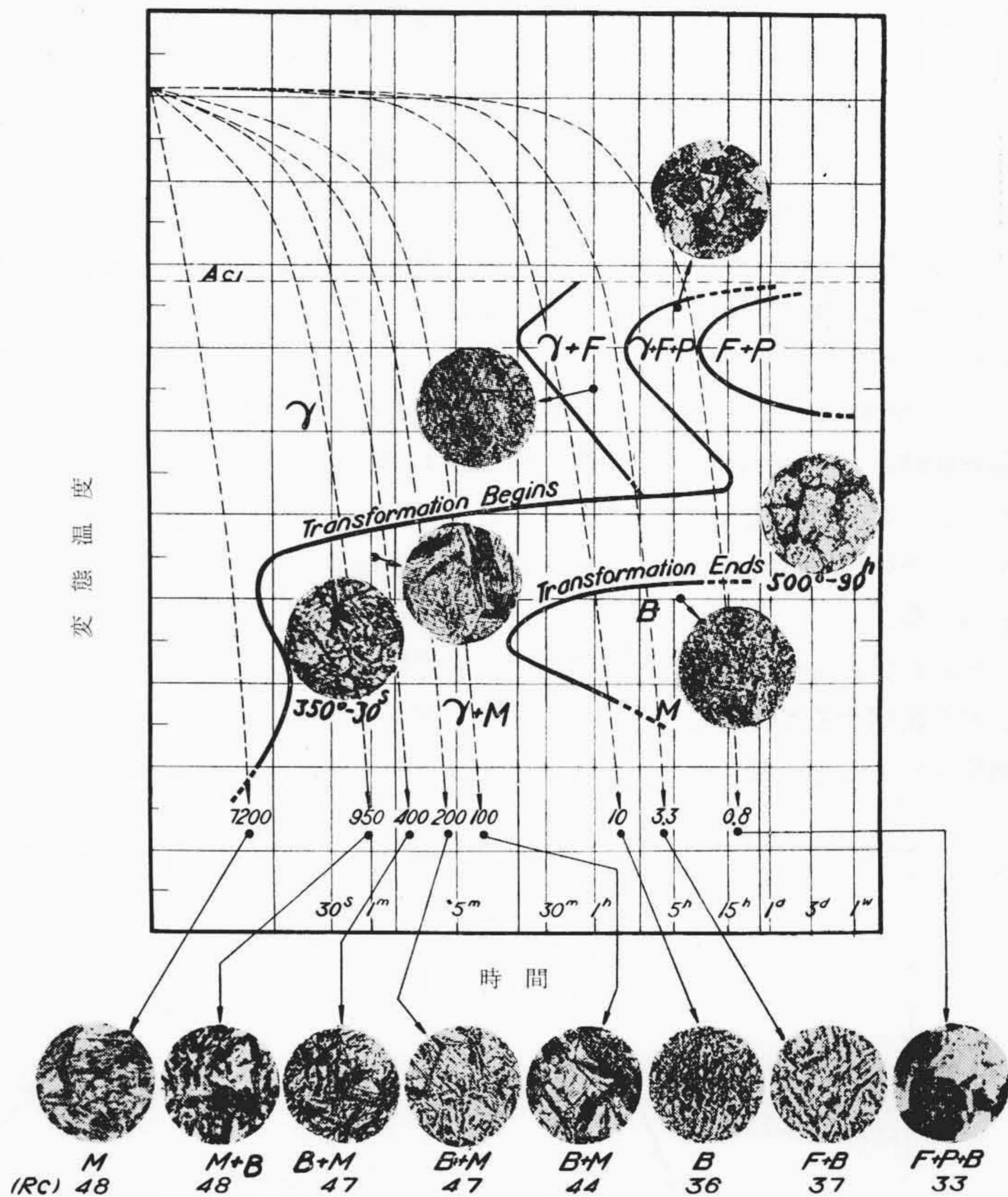
第10図は種々のケーシング材の高温におけるクリープ強度の結果である。これよりわかるごとく $1/2\text{Mo}$ 鋼は鋳鋼よりもクリープ限度が高く、 $1/2\text{Cr}-1/2\text{Mo}$, $1\text{Cr}-1\text{Mo}$, $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ は $1/2\text{Mo}$ よりさらに高いクリープ限度を示しているがこれらの値はほぼ同じ程度である。 $1\text{Cr}-3/4\text{Mo}-1/4\text{V}$ は最も高温強度がすぐれており 600°C においてもなお 20kg/mm 以上の値を示している。

ケーシングと蒸気室あるいはバルブとパイプの間は熔接により接続されるためケーシングなどの鋳鋼材はまた熔接性の良好であり熔接部の高温強度が高くなければならない。

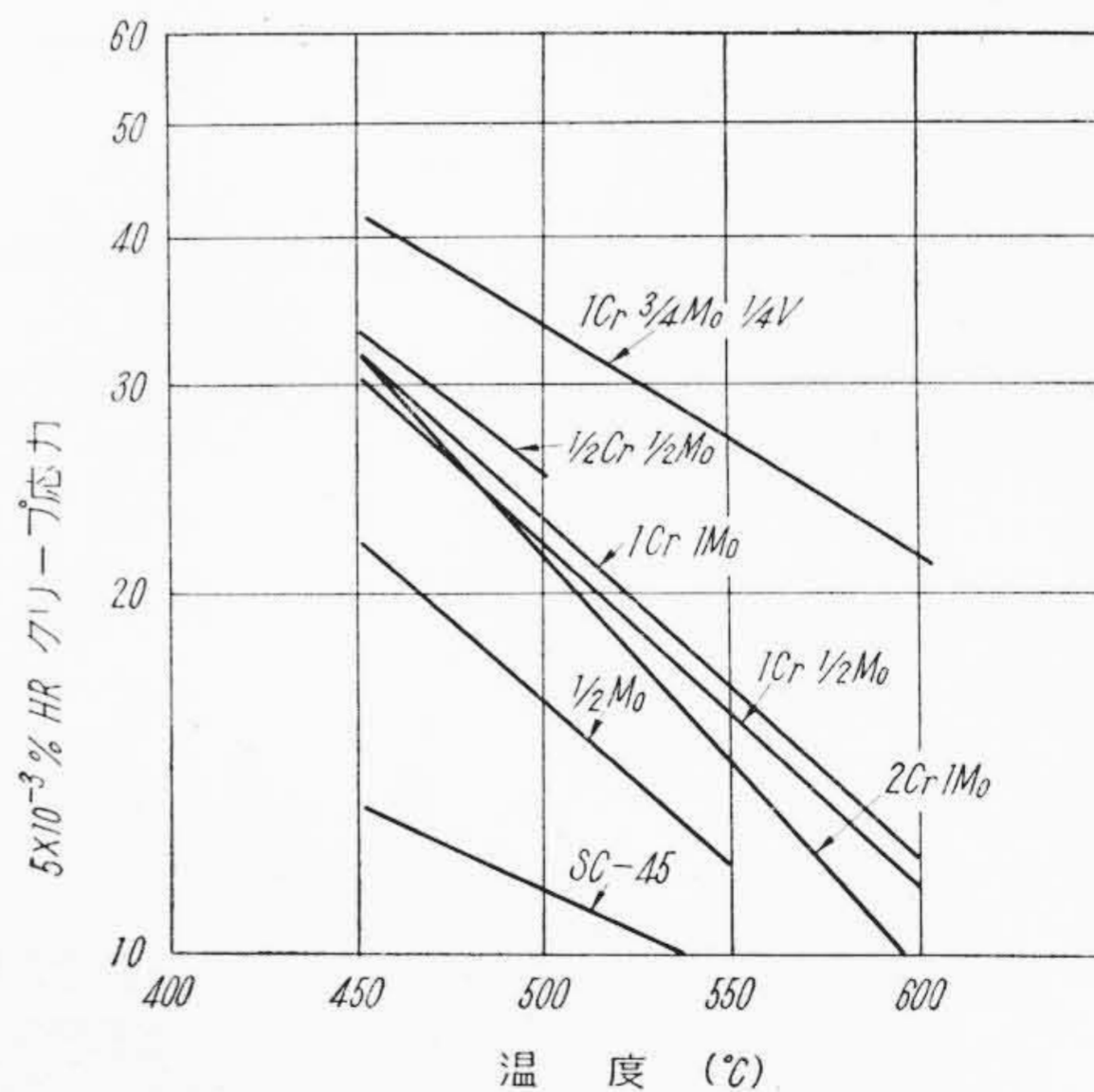
このためには熔接棒の選択、熔接前後の熱処理は慎重を期す必要がある。

$1\text{Cr}-3/4\text{Mo}-1/4\text{V}$ 鋼を熔接する場合には一般にこれと類似の成分をもつ低水素型の熔接棒を使用する。また熔接に先だつては $250^\circ\text{C}\sim 300^\circ\text{C}$ で十分予熱することが必要である。これは熔接の際に Crack に生成の原因となる水素の拡散速度を十分にしているのが主目的である。この予熱が十分でないとき境界部に生成された水素が逃げ場を失つて密閉されるので Crack を生ずる原因となる。さらに予熱の二次的な効果として考えられるのは熔接後の冷却速度を遅くすることにより Crack の発生を防止しまた硬度が低くなるため靱性を増加するなどの利点がある。

第11図(次頁参照)は $1\text{Cr}-3/4\text{Mo}-1/4\text{V}$ 鋼の衝撃値と温度の関係を示したもので衝撃値はある温度で急激に増加する。この衝撃値の変曲点が低い程熔接の際の Crack が発生しにくくなる。 $1\text{Cr}-3/4\text{Mo}-1/4\text{V}$ 鋼はこの変曲点が非常に低いため熔接に対して極めて良好な性質をもつ



第9図 Cr-Mo 鋼の S 曲線
Fig. 9. S Curve of Cr-Mo Steel



第10図 ケーシング用鋳鋼の高温における $5 \times 10^{-3}\%/h$ クリープ応力
Fig. 10. $5 \times 10^{-3}\%/h$ Creep Stress of Cast Steel for Turbine Casing at High Temperature

ている。熔接部は熔接後 650°C~700°C で長時間焼鈍を行うことが必要である。

なお 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo など Cr の高い材料を熔接する場合に、一般に熔接棒に Cr の高いものを用いる必要はない。これは Graphitization は常に熔接部の母材に生じるものであり熔着鋼に Graphitization を生じた例はなく、また Cr は1%程度で十分 Graphitization を防止できるためである。

日立製作所においてはすでに東京電力株式会社納めの 66,000 kW タービン用として 1Cr- $\frac{3}{4}$ Mo- $\frac{1}{4}$ V の高圧ケーシングを製作納入したが、本材料は 1,050°F (566°C) までは十分使用可能であることを諸研究より確信することができた。

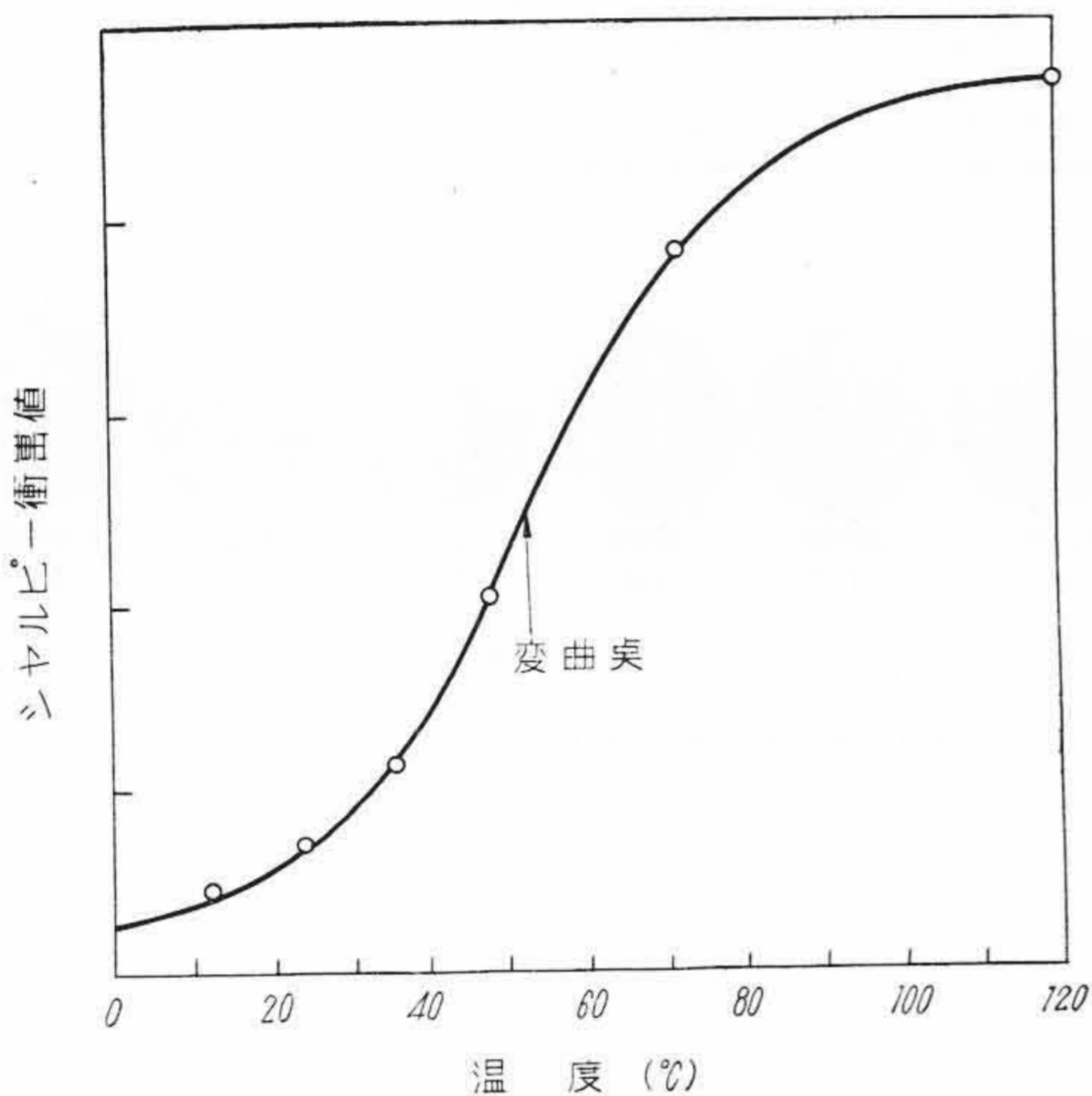
ケーシングの構造上からは第12図のごとく二重ケーシングを採用することもでき、また再熱タービンであれば第13図のごとく高温高圧部のみをできるだけ一箇所に集

めるような構造にすれば相当大容量のものでも高温高圧部は比較的小さなものとすることができるので、15万 kW 程度の大きさのものでもケーシングの製作は比較的容易である。

〔IV〕 タービンロータ

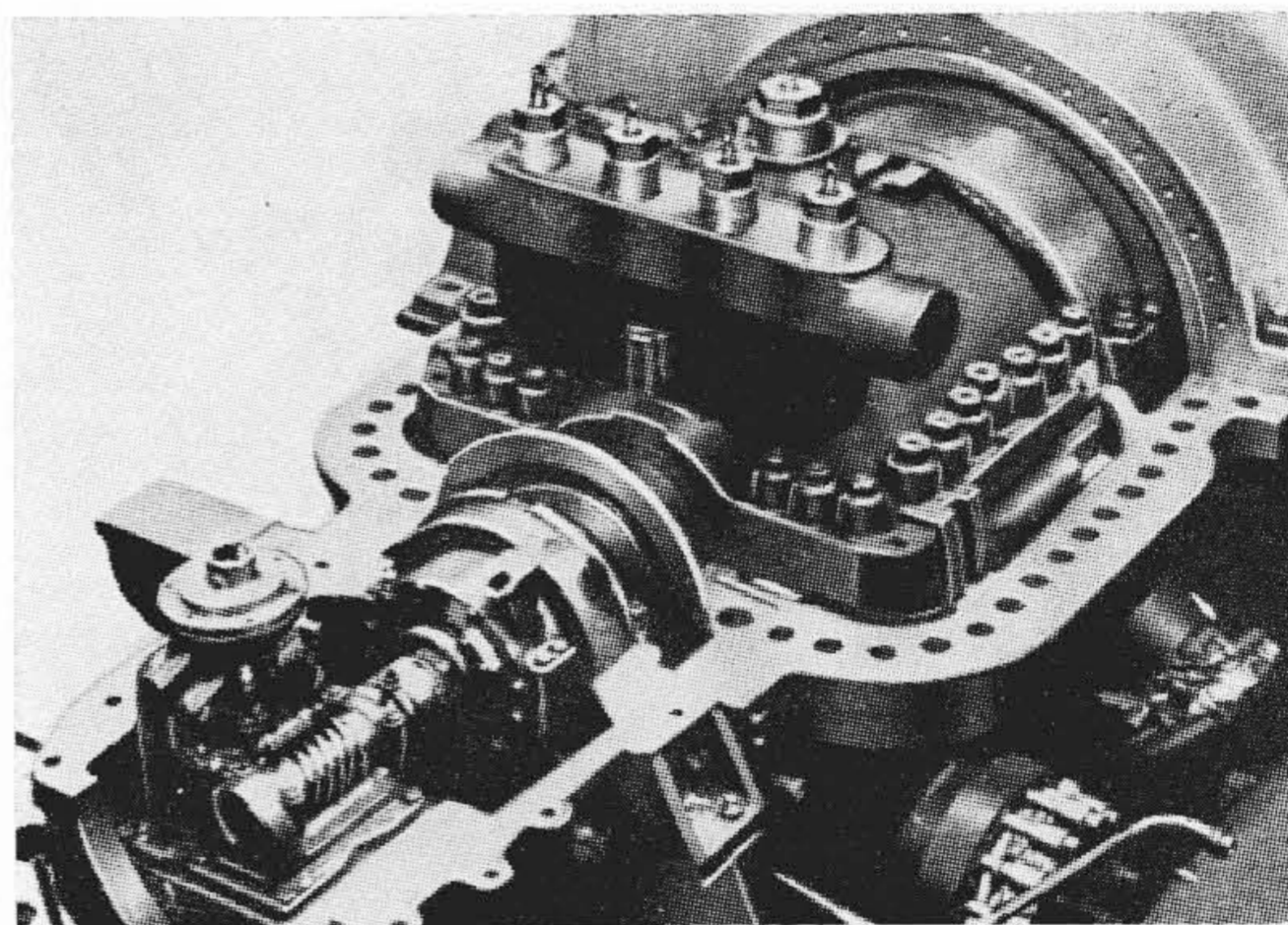
タービンロータの温度は第1段ノズルを通過した後の蒸気に触れるので、ケーシング程温度は高くないが遠心力および蒸気の衝撃により大きな応力を受けるので高温強度が特に高くなければならないが、さらに高速回転体であるので高温における曲りに対して絶対に安定であることが必要である。特にタービンが大型になる程わずかなロータの曲りが大きな振動となつて現われてくる。

従来ロータ材には油焼入による材料が用いられてきたが油焼入をした材料は焼入の際の、急冷により大きな内部応力を残しやすく、また均一な材料を得ることが困難であるため、最近では高温高圧大型タービンのロータ材はすべて空冷による Normalize Temper を行っている。この場合従来の材料では S 曲線において Ar₁ 変態開始

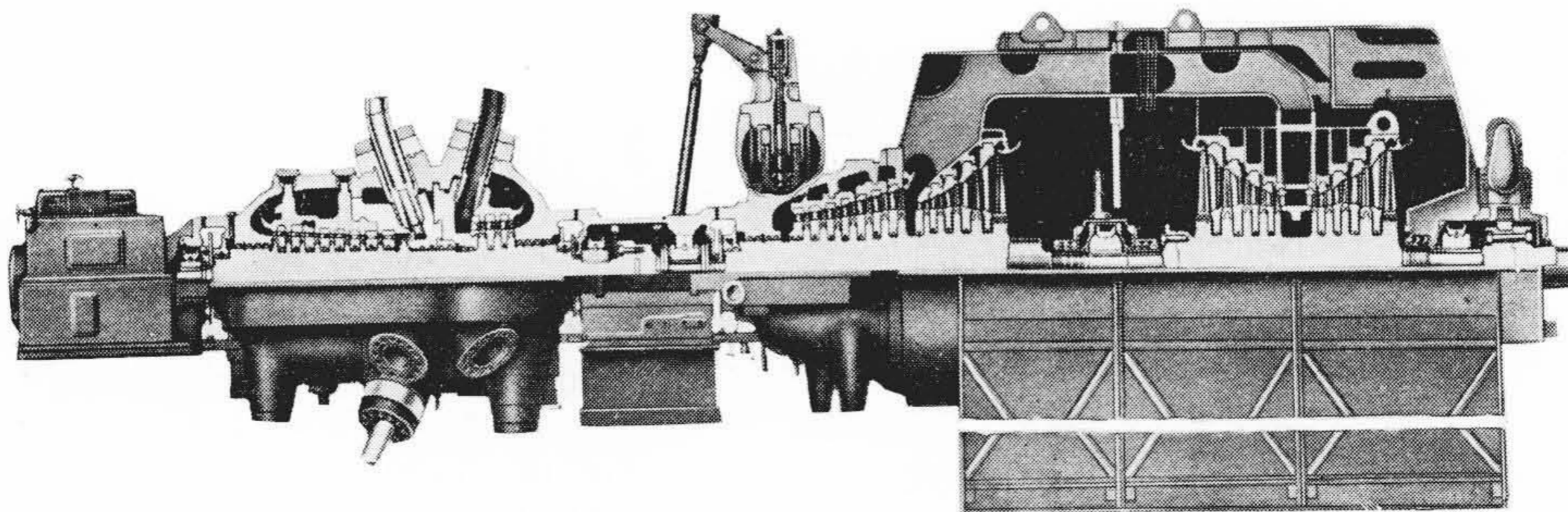


第11図 1Cr $\frac{3}{4}$ Mo $\frac{1}{4}$ V 鋼の温度に対する衝撃値の変化

Fig. 11. Impact Energy Versus Temperature of 1Cr $\frac{3}{4}$ Mo $\frac{1}{4}$ V Steel



第12図 二重ケーシング構造
Fig. 12. Double Shell Construction



第13図 大容量再熱タービン
Fig. 13. Large Reheat Turbine

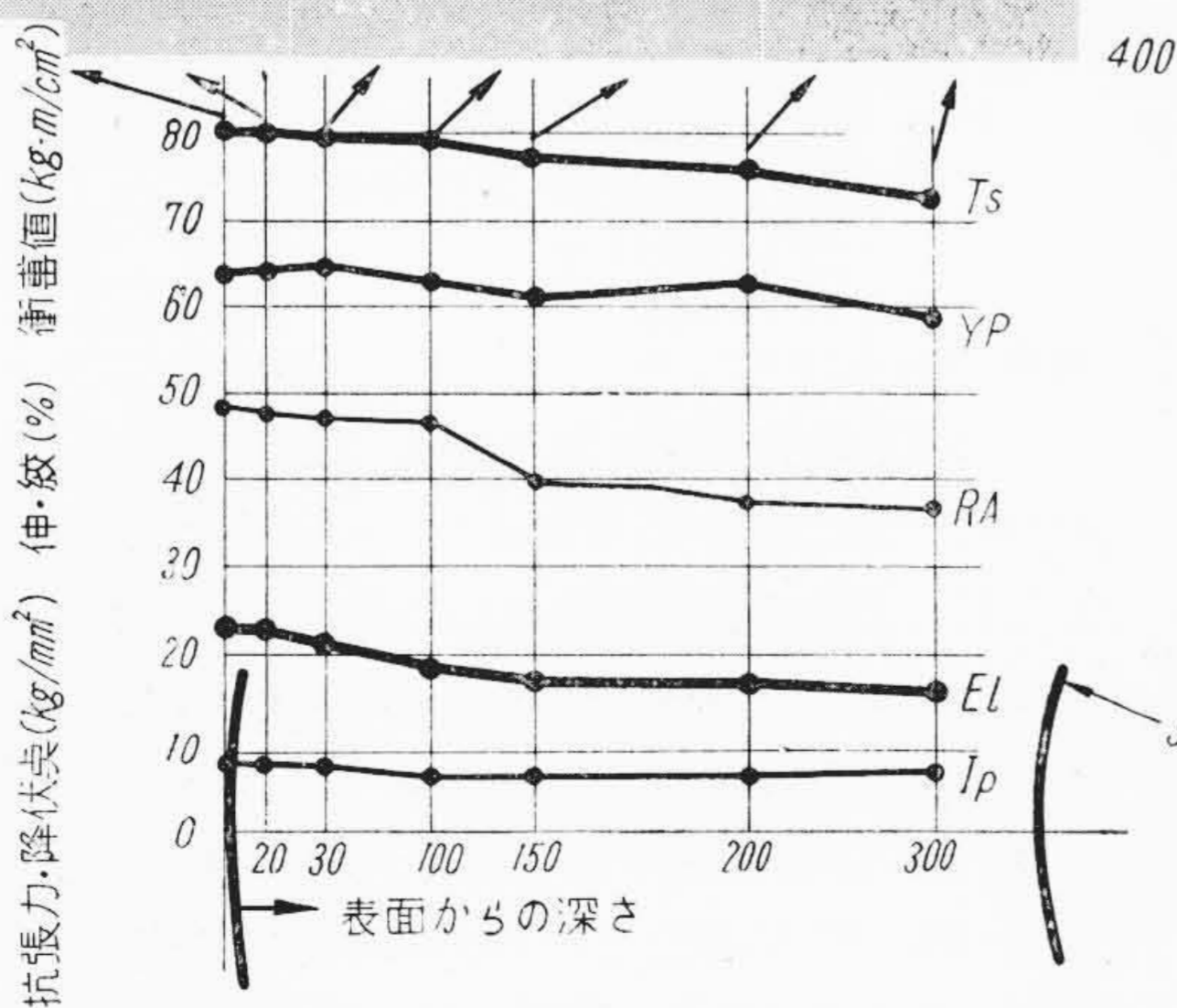
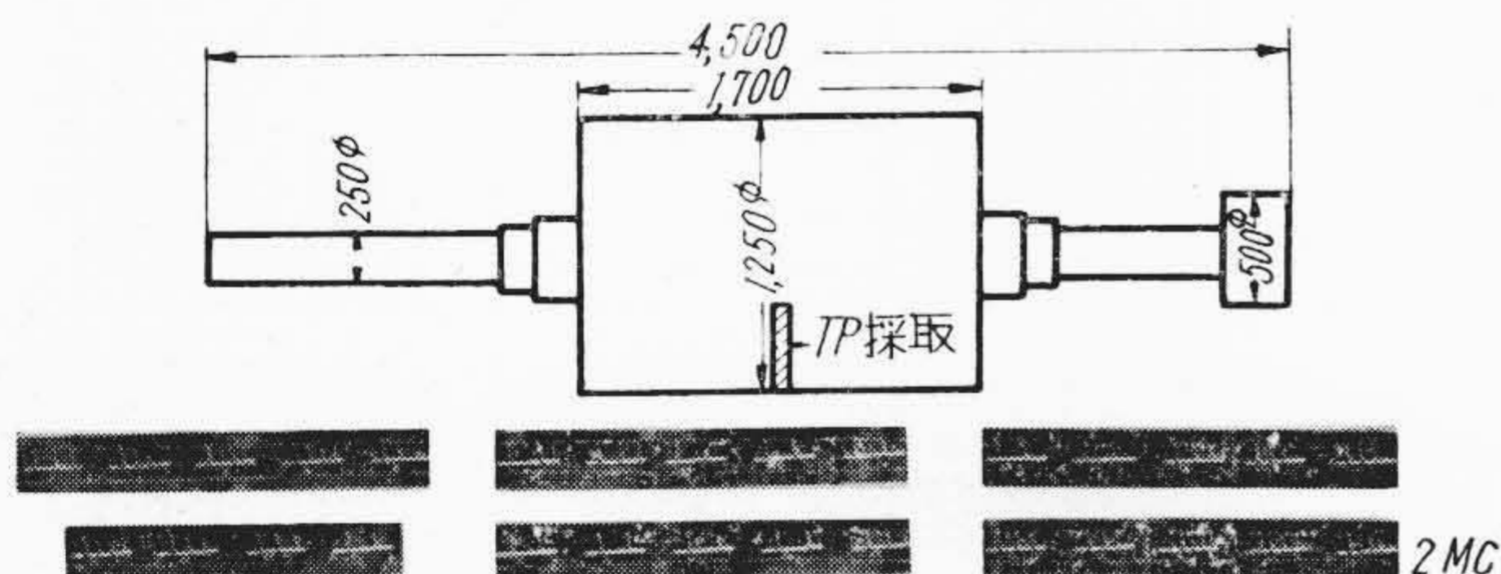
曲線が焼入速度の短時間側にあるため空冷による徐冷を行うと粗大なフェライトが出るので、 Ar_1 変態点ができるだけ高温長時間側にあるものでなければならない。

第14図および第15図は日立製作所において実物タービンロータ材について従来の Ni-Cr-Mo 鋼を油焼入したものと最近の材料 Ni-Mo-V 鋼を Normalize Temper したものについて材料の内外部の均一性を調査した結果を示している。これによりわかるように Normalize Temper を行つた材料は内外部の機械的性質および組織が非常に均一であることがわかる。

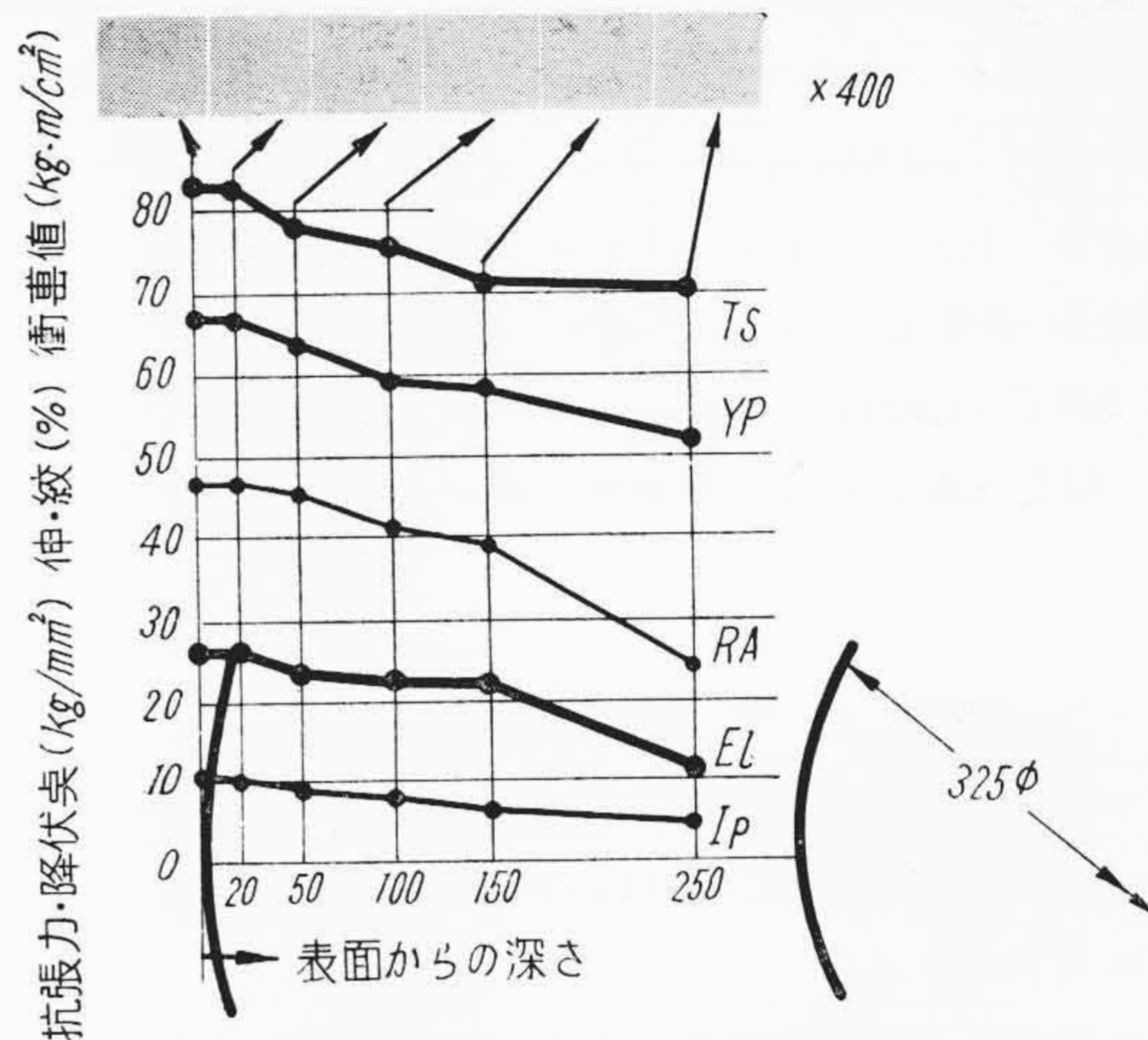
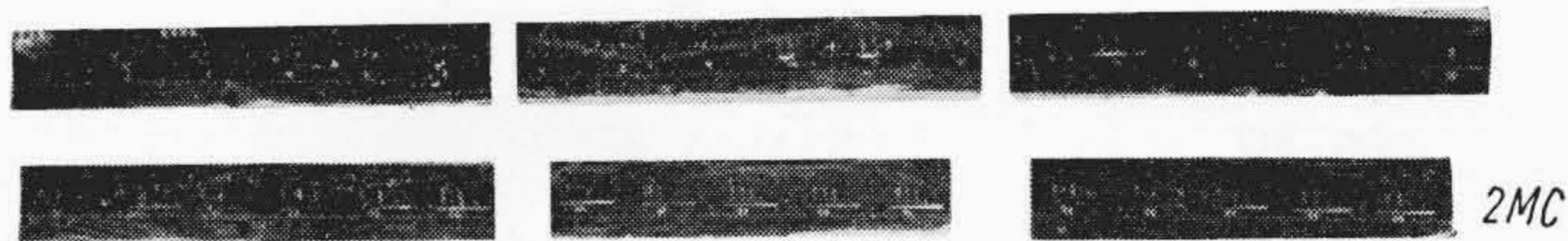
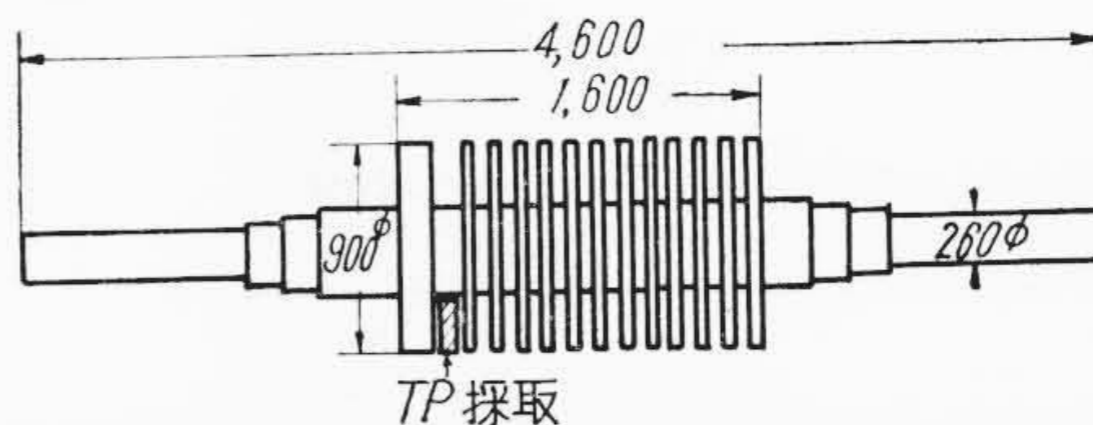
第3表 (次頁参照) 日立製作所のロー

第14図 油焼入した Ni-Cr-Mo ロータ内外部の機械的性質

Fig. 14. Physical Properties of Oil Quenched Ni-Cr-Mo Steel Rotor



胴部内外の機械的性質 (切線方向)



胴部内外の機械的性質 (切線方向)

タ材の蒸気温度に対する使用標準を示している。すなわち 315°C 以下は炭素鋼を 510°C までは Ni-Mo-V 鋼を使用し、これ以上になると Cr-Mo-V 鋼を使用する。

Cr-Mo-V 鋼は Ni-Mo-V 鋼に比して高温強度が著るしく良好であり Ar_1 変態開始時間は著るしく高温長時間側にあるため焼入性はきわめて良好である。しかし Cr の含有量が高いのでスラッグなどが出易くなるが、これに対しては日立製作所においては熔解の際に塩基性電気炉を使用しているので問題はなく、また変態点が高いので高温均一加熱を要するので特殊加熱炉を用いており焼入速度の調節に対しては回転冷却設備によつている。

第16図は(次頁参照) Ni-Mo-V は鋼および

第15図 焼準焼戻しを行つた Ni-Mo-V ロータ内外部の機械的性質

Fig. 15. Physical Properties of Normalize-Tempered Ni-Mo-V Steel Rotor

第3表 タービンロータ材料の温度による使用区分

Table 3. Classification of Turbine Rotor Materials by Temperature Range

主蒸気温度 (°C)	ロータ材料
315 以下	炭素鋼
316~440	Ni-Mo-V 鋼
441~510	Ni-Mo-V 鋼
511~538	Cr-Mo-V 鋼
539~566	Cr-Mo-V 鋼

Cr-Mo-V 鋼の 100,000 時間ラプチャ試験の結果を示したものでありこれによりわかるように Cr-Mo-V 鋼は高温強度が非常にすぐれており、タービン入口蒸気温度が 566°C (1,050°F) の場合ロータの温度は 538°C (1,000°F) 程度であるので十分使用に耐えることがわかる。

[V] タービン翼

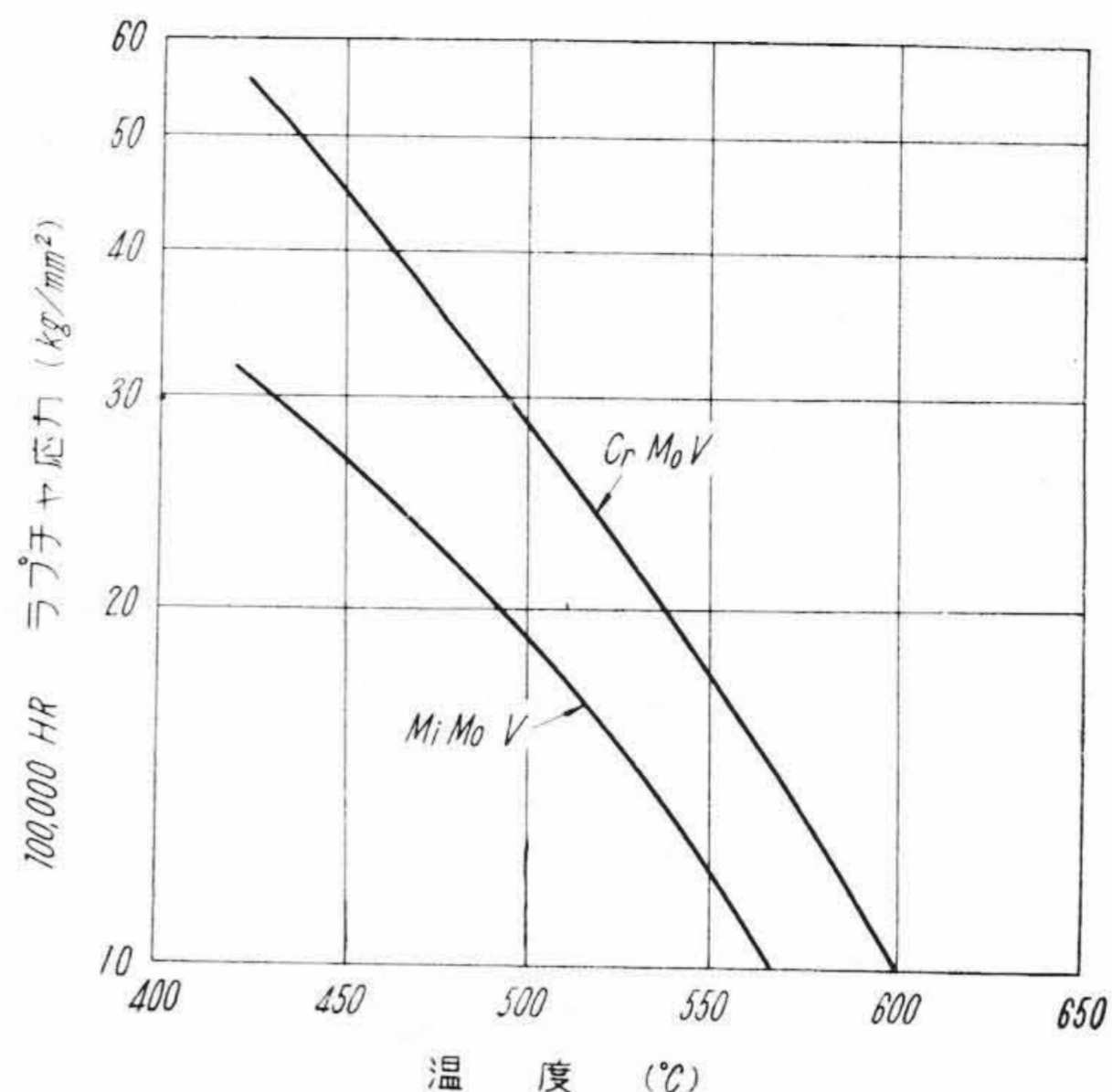
タービン翼材としては通常 12Cr 鋼が用いられるが高温になると Co-W-V あるいは Mo-W-V を加えた特殊の 12Cr が用いられる。

タービン翼のように高温で高い応力を受けるものはラプチャ応力を基準にして設計されるのが最も適当である。第17図は 12Cr, 12Cr-Co-W-V および 12Cr-Mo-W-V の高温における 100,000 時間ラプチャ試験の結果を示したものである。これによりわかるように 12Cr-Co-W-V は 538°C でなお 22 kg/mm² 以上の強度を有している。

タービン入口蒸気温度が 538°C の場合第1段の翼の温度は 510°C 程度であるが再熱段落では 525°C 程度にまでなるので最も苛酷な条件となる。通常タービン入口蒸気温度 538°C の場合再熱後の翼のみ 12Cr-Co-W-V あるいは 12Cr-Mo-W-V が用いられ他は 12Cr が用いられる。タービン入口蒸気温度が 566°C (1,050°F) となつた場合には第1段後および Reheater の後の2段落程度までが 12Cr-Co-W-V または 12Cr-Mo-W-V となる。これらの材料の選択は個々の場合について翼の応力と材料のラプチャ強度を睨み合はせて決定せねばならない。

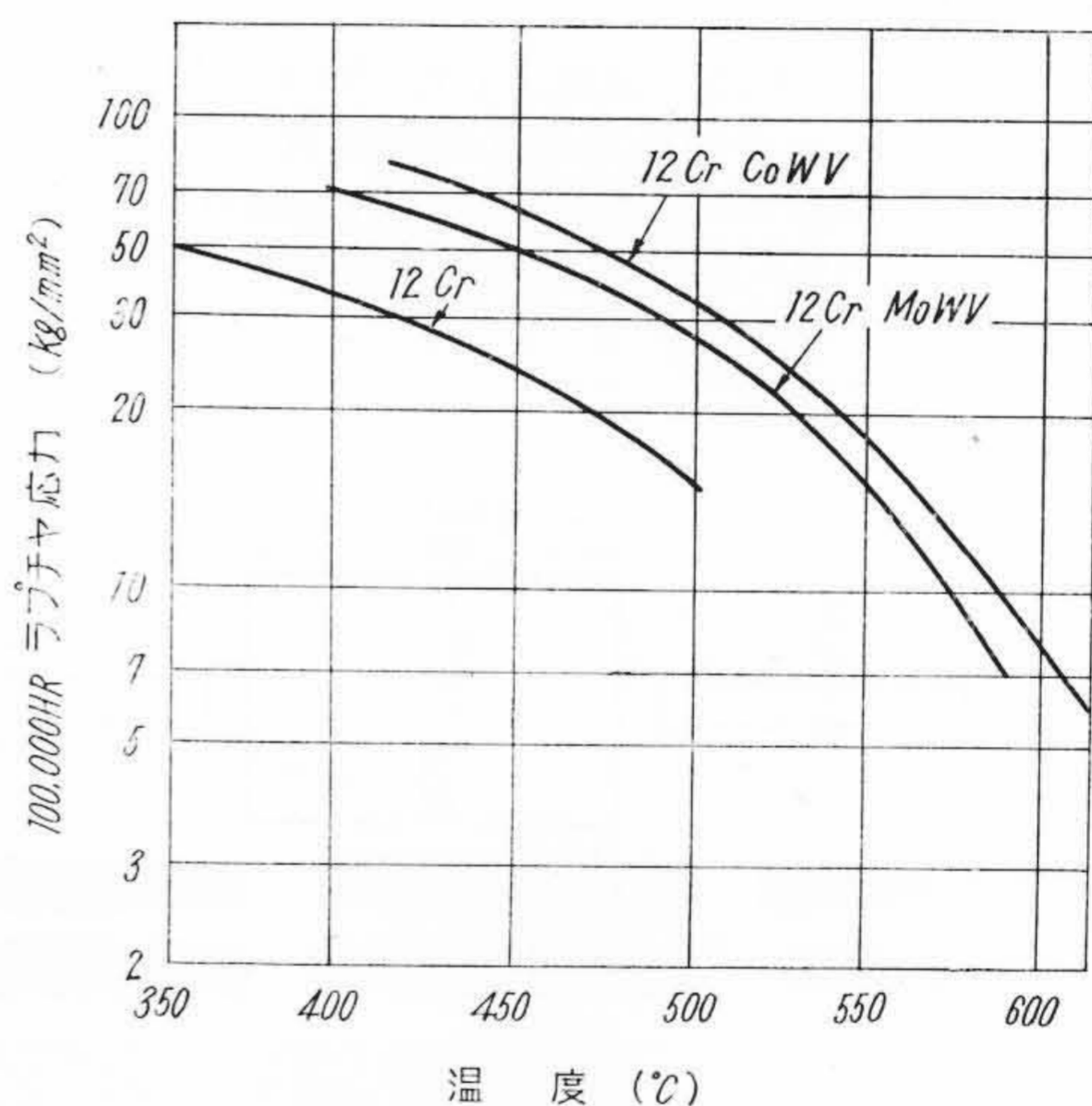
[VI] ボルト材

一般に高温用ボルト材は Constant-Load のクリープ試験により得られた値を基にして決定されているが、タービンケーシング用ボルトのごとく毎年の解放検査のたびに締め直すものでは、Elastic および Plastic の Total の伸を一定にして行う Relaxation-Creep 試験により得られる Residual Stress によつて決定する方がより



第16図 Ni-Mo-V および Cr-Mo-V 鋼の高温における 100,000 時間ラプチャ応力

Fig. 16. 100,000h Rupture Stress of Ni-Mo-V & Cr-Mo-V Steel at High Temperature



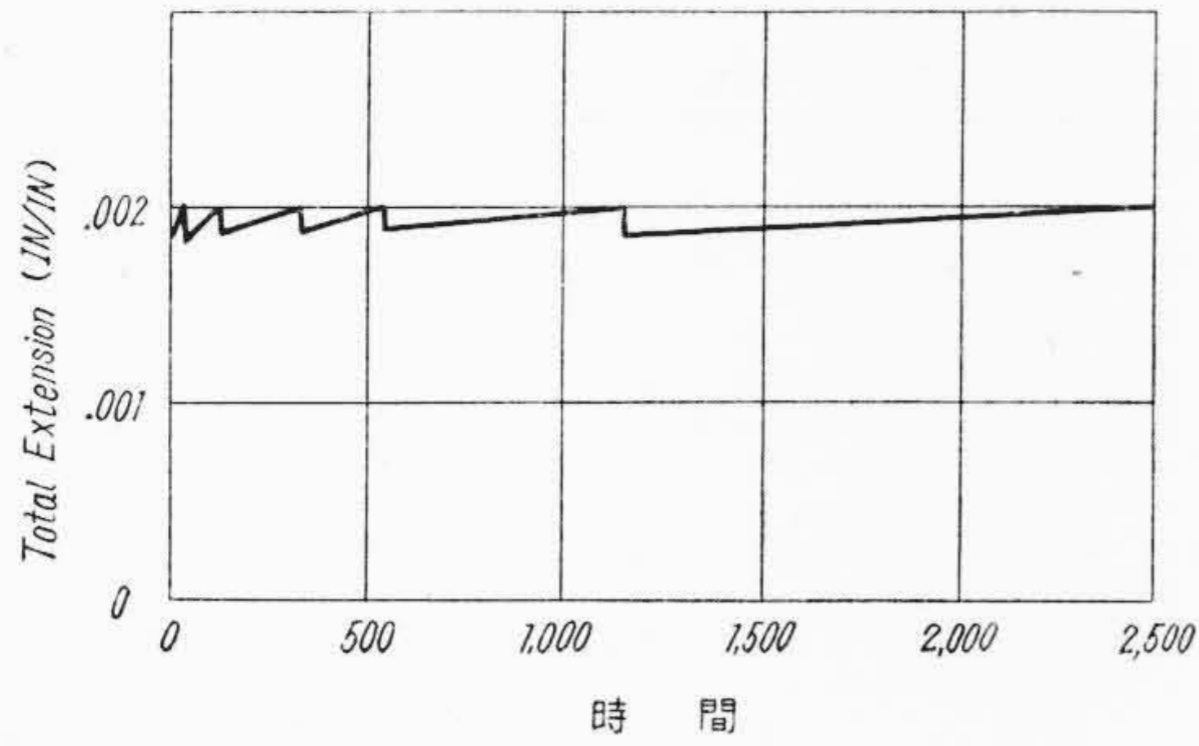
第17図 12Cr 材の高温における 100,000 時間ラプチャ応力

Fig. 17. 100,000h Rupture Stress of 12Cr Material at High Temperature

適格である。

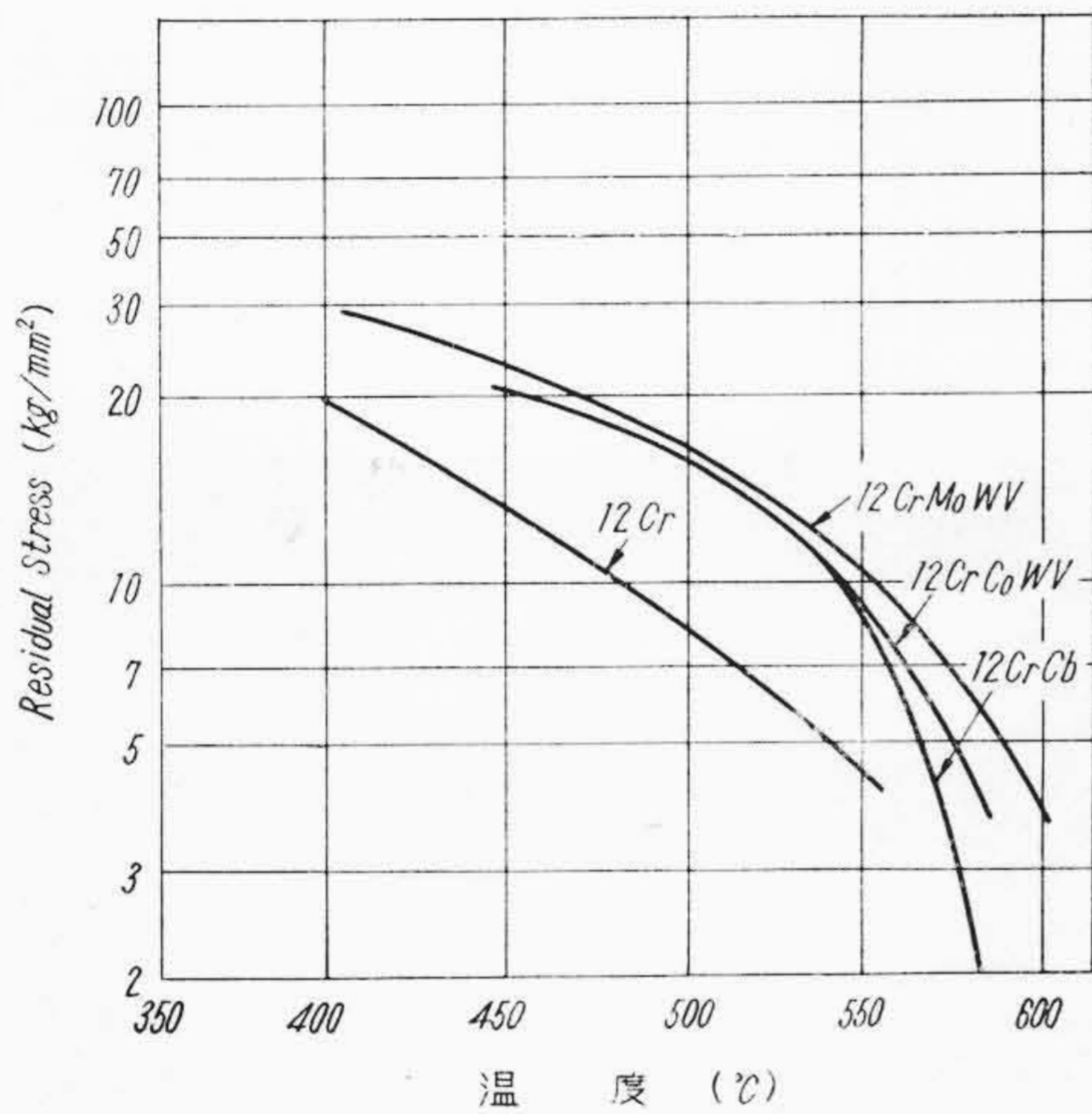
この試験は第18図 (次頁参照) に示したごとく Total の伸を一定に抑えて Load をしだいに段階的に減少して行く方法で測定される。これによつて得られた伸 0.002 in/in で 10,000 時間の Residual Stress を基準にしてボルトの設計が行われる。

第19図 (次頁参照) は高温における 12Cr-Co-W-V, 12Cr-Mo-W-V 鋼などの 10,000 時間の Residual Stress を示したものであり、12Cr-Mo-W-V が最もすぐれた値を示している。



第18図 高温におけるリラクゼーションクリープ試験

Fig. 18. Relaxation-Creep Test at High Temperature



第19図 12Cr 材の高温における残留応力
Fig. 19. Residual Stress of 12Cr Steel at High Temperature

第4表は日立製作所におけるボルト材の使用標準を示したものであるが、12Cr-Mo-W-V あるいは 12Cr-Co-W-V はタービン入口蒸気温度 566°C (1,050°F) までは十分耐え得るものと考えられる。

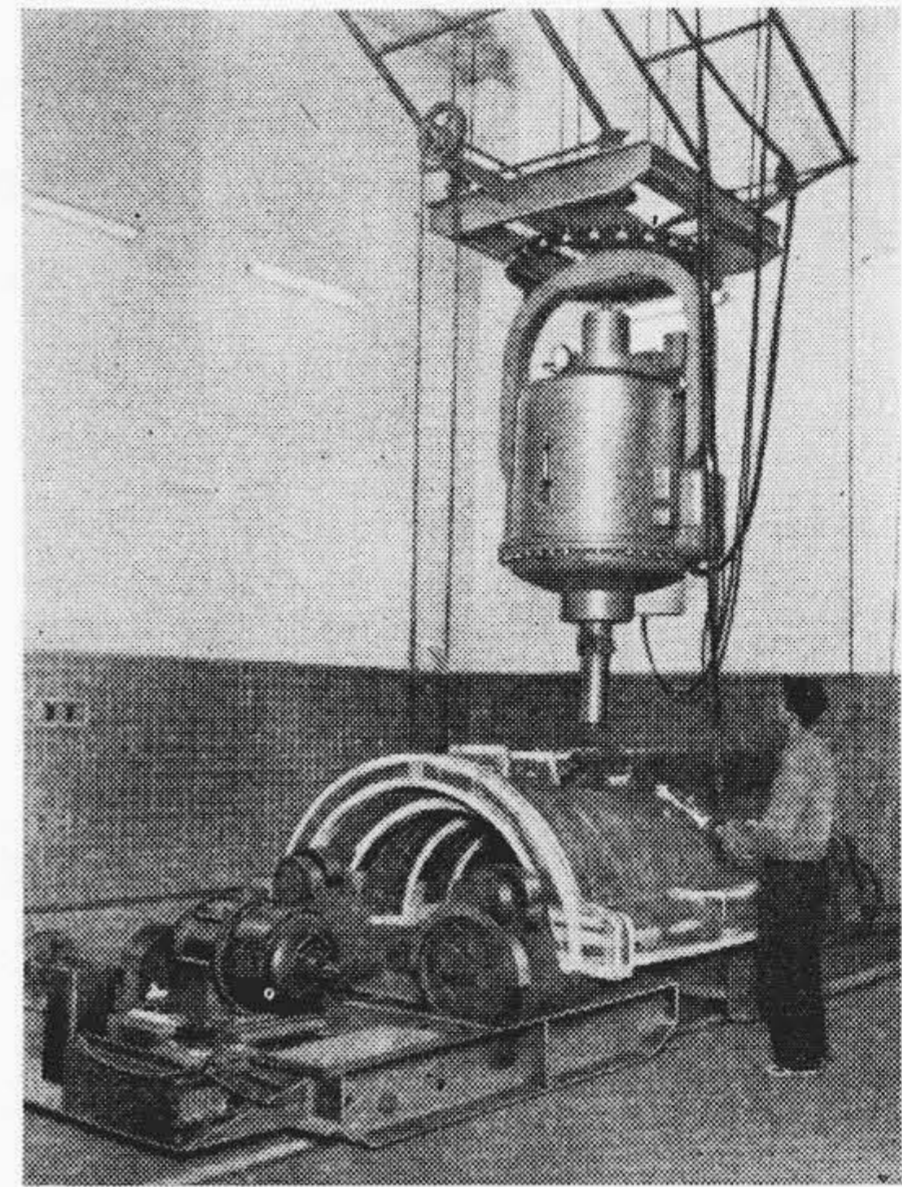
〔VII〕 材料の検査

前項までに高温高圧タービンの材料について述べてきたがこれらの材料を実際の大容量タービンに適用するには単なる実験室の研究だけでなく実物に近い材料の試作により十分検討することが必要である。日立製作所においては早くからこの点に着目し自社の研究所および原料工場を動員して試作研究を行つてきており、これらの材料を高温、高圧、大容量のタービンに適用するには十分の自信を有しているがさらにこれらの材料を製作する際には十分の検査が必要である。

これに対してはケーシング材は 100 万ボルト X-ray

第4表 高温部ボルト材の温度による使用区分
Table 4. Classification of Bolt Materials by Temperature Range

主蒸気温度 (°C)	ボルト材料
315 以下	炭素鋼
316~440	Cr-Mo-V 鋼
441~510	Cr-Mo-V 鋼
511~538	12Cr-Mo-W-V 鋼あるいは 12Cr-Co-W-V 鋼
539~566	12Cr-Mo-W-V 鋼あるいは 12Cr-Co-W-V 鋼



第20図 100万ボルト X線による高圧ケーシングの検査

Fig. 20. Test of High Pressure Shell by 1000KVP X-ray Equipment



第21図 高圧ケーシングの磁気探傷試験
Fig. 21. Magna Flux Test of High Pressure Shell

試験、γ-ray 試験および磁気探傷試験の併用を行いロータ材に対しては Super Sonic 試験および高温曲り試験を行い、翼およびボルト材に対しては Super Sonic 試験、磁気探傷試験を行つて製品の安全に対して万全を期している。

第5表 日立大容量復水タービン標準表
Table 5. Standard Ratings of Hitachi Large Capacity Condensing Turbines

タービン 定格出力	kW	22,000		33,000		44,000		55,000		66,000		75,000		100,000		125,000		150,000
		型式	SF	SF	TCDF あるいは SF		TCDF		TCDF		TCDF		TCDF		TCTF あるいは TCDF		TCTF あるいは CC	
タービン入口 蒸気圧力	lb/in ²	850	850	850	1250	850	1250	850	1250	1250	1450	1450	1450	1450	1450	1800	1800	
	kg/cm ²	60	60	60	88	60	88	60	88	88	102	102	102	102	102	126	126	
タービン入口 蒸気温度	°F	900	900	900	950	900	950	900	950	950	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
	°C	482	482	482	510	482	510	482	510	510	538	538	538	538	538	538	538	
再熱温度	°F	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1000	—	1000	1000	1000	1000		
	°C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	538	—	538	538	538	538		
抽気段数		4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7		
給水温度	°F	360	420	420	420	420	420	420	420	420	450	450	450	450	455	455		
	°C	182	216	216	216	216	216	216	216	216	238	238	238	238	241	241		
復水器真空	in-Hg	1.5	1.5	1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5		
	mm-Hg	722	722	722		722		722		722		722		722		722		

SF は Single Flow
TCDF は Tandem Compound Double Flow
TCTF は Tandem Compound Tripple Flow
CC は Cross Compound

第20図～第22図はこれらの試験設備の一例を示したものである。

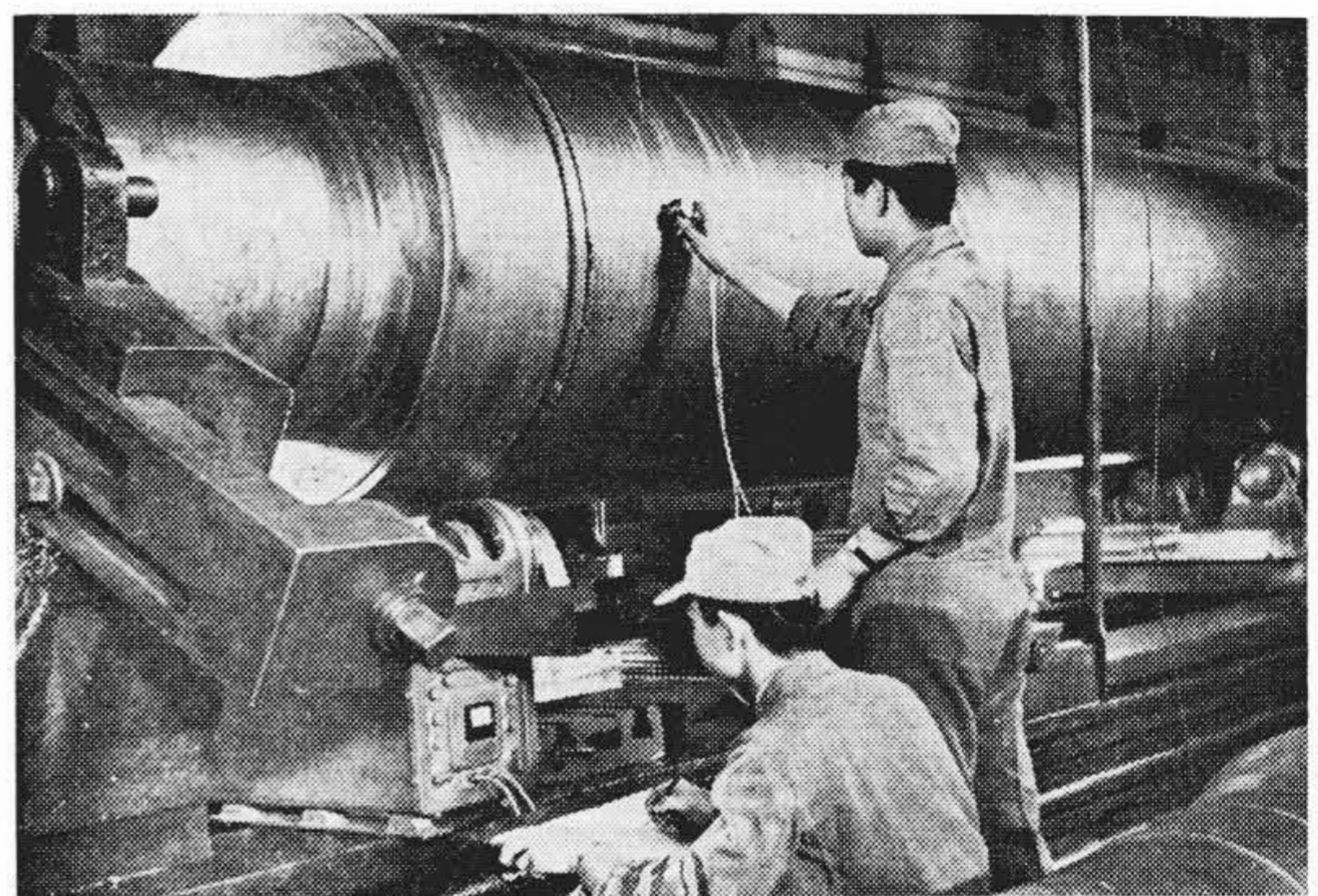
[VIII] 結 言

以上で主として材料の高温における諸性質について述べてきたがこれを容量的に見ると、たとえば 150,000 kW の Reheat Turbine の一例を示せば

- 高圧ロータ 8.5 t
- 中圧ロータ 10 t
- 低圧ロータ 15 t
- 高圧ケーシング 27 t
- 中圧ケーシング 13 t

となり鍛鋼、鋳鋼とも十分自社の原料工場での製作範囲内にある。

第5表は日立製作所における中央発電所用大型タービンの標準仕様を示したものであり最大のものは 150,000 kW、蒸気圧力 1800 psi、蒸気温度 1,000/1,000 °F の Reheat Turbine であるが、さらに蒸気温度が 1,050 °F (566 °C) となつても、綿密な設計、製造、熔接、熱処理を伴えば高価な オーステナイト系材料を使用しなくても、フェライト系の材料で十分製作し得るものと考えられ、国産のタービンで 15 万 kW 程度の高温、高圧ター



第22図 ロータの超音波探傷試験
Fig. 22. Super-sonic Test of Rotor Shaft

ビンの出現する日も決して遠くないものと確信している。

本文を執筆するに当つては日立研究所および日立的原料工場の研究資料を参考とさせて戴いたので関係各位に深甚な謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) Design and Fabrication of Steam, Piping by A. W. Rankin, The Welding Journal, June 1951
- (2) High-Temperature Properties and Characteristics of a Ferritic Steam-Piping Steel, by A. W. Rankin, Trans. ASME, 1951