

NRIM NEWS



科学技術庁 金属材料技術研究所

National Research Institute for Metals

特集 “材料強度データシート”

- 構造物の安全のために
- 超10万時間クリープ試験
- 10^{10} 回長期疲労特性を目指して
- データシート生産者から
- 人と物の長寿社会の構築
- 設計基準への反映 (ASME許容応力)
- 材料開発への利用
- 発電プラントの定検合理化と延命化のために
- リスク評価に長時間クリープデータは不可欠
- 溶接構造物の設計製造
- データシートの公表と展開

えぬりむ

研究最先端

- 絶縁体から超伝導へー光で探る道標



8

1998 AUGUST

材料強度データシート

構造物の安全のために



力学機構研究部
入江 宏定

1.なぜ金材技研で材料強度データを？

発電プラントや橋梁などの公共性の高い大型構造物から、産業機械あるいは自動車など個人の日常生活に至るまで、「安全」が非常に重要であることは当然のこととして受け止められ、人身に及ぶ事故、社会生活を混乱させる事故はあってはならないことです。しかし長時間使用される発電プラント、建築物、あるいは公共輸送手段などは、安全の保証あるいは寿命の設定は大きな問題です。最近では大型コンピュータを駆使した設計により、安全性が高まっていますが、これにより信頼性の高い材料強度データを組み込むほど当然合理的な設計となります。現在は必ずしも十分な長時間強度データがそろっていないため、設計には強度データに安全係数を大きくとった強度が使用されています。

21世紀には、資源の節約（材料資源、エネルギー資源等々）、環境汚染の低減など激しい要求が構造物に科せられるのは明白です。そしてより長い寿命、より少ない使用材料、より高効率のプラント類

の設計が要求されてきます。このためにも従来にも増して長時間で、信頼性の高い材料強度データが必要となってきます。しかしデータ取得には莫大な経費と労力を必要とし、民間企業・機関で実施することは困難です。国立研究所のみが、高い信頼性の豊富なデータを系統的に供給できます。

2.金材研での材料強度データシート

金属材料技術研究所では、さまざまな材料強度特性のうち、長期にわたる強度データを系統的に、かつ組織的に取得し、これをデータシートとして社会に供給してきました。

クリープデータは、従来限られた材料で、数万時間までの短時間しか存在しませんでした。社会的要請を受けて10万時間データ取得を目標として、昭和41年度から系統的にクリープ試験を実施し、データシートとして発行してきました。

一方疲労データシートも社会的要請を受けて、昭和50年度から疲労試験を開始し、非常に多くのデータシートを発行してきました。疲労試験は従来型の材料での従来型の疲労データを一通り取得したとの判断の下に一旦終了したが、新たなコンセプトの下に次世紀での社会的ニーズを考慮した試験を平成9年度から再開しました。

金材研で発行してきたデータシートの大きな特徴は、生のデータ（ファクトデータ）をそのまま掲載したもので、利用方法などはユーザに委ねられています。

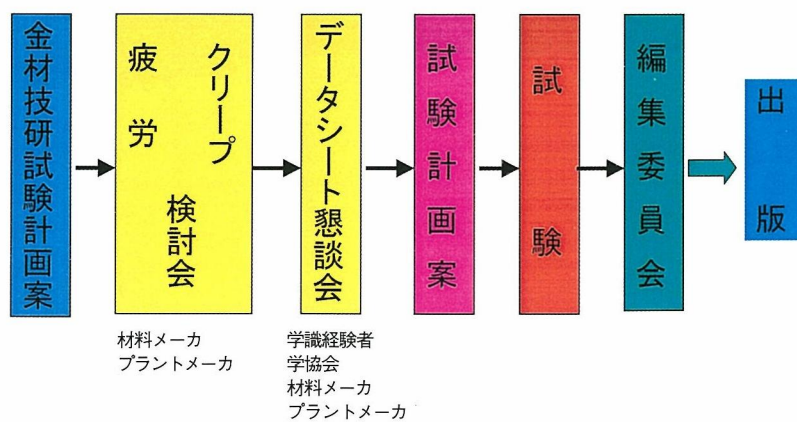


図1 材料強度データシート作成の流れ

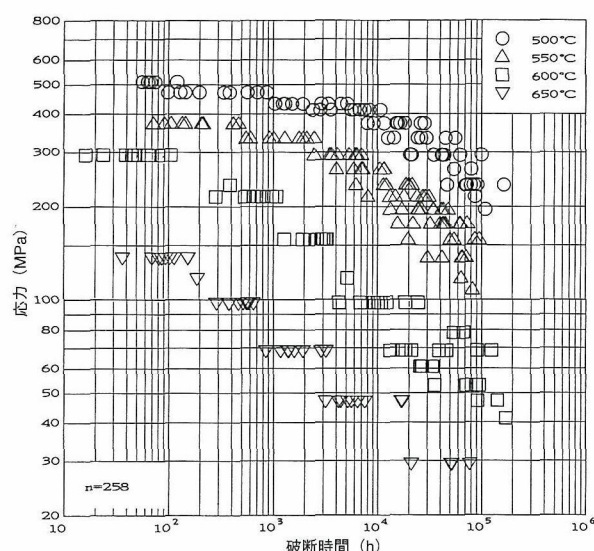


図2 クリープデータシートの内容例：
クリープ破断強度と破断時間の関係を図形式で
掲載している（12Cr-1Mo-1W-0.3V鋼、平成10
年3月出版）

3.データシート作成の流れ

金材研のデータシートは図1のような手順で作成され発行されています。まずアンケート調査などを踏まえて試験計画案を作成します。その計画案を企業の実務者から構成される検討会に諮られ、試験内容のユーザサイドからの討議を経ます。そして修正案を学識経験者、学協会関係及び企業のメンバーから構成される材料強度データシート懇談会に諮り、合意を得て最終計画が作成されます。このように2段階で社会的ニーズを導入した計画の下、細心の注意を図りながら材料試験が実施され、データが蓄積されていきます。これを図2及び3のようなクリープ破断データや疲労S-N曲線など専門家が使用しやすいポピュラーな諸線図と数値をそのまま書き込んだ表とにまとめ、材料組成などの必要な基本特性を付けてデータシートにまとめられます。これがデータシート編集委員会でのチェックを受けた後出版にされます。同時に国内外での企業、大学、規格機関などに送付されます。

このため試験材料の選択には、試験材

料ではなく、広く利用あるいは今後利用の見込まれる材料（規格材）を選択し、企業や製造ごとの若干の性能変化を考慮し、いくつかのヒート（製造ロット）のものを選びます。当然組成や熱処理条件など基本性質がオープンになったものに限られます。

4.データシート内容の変化

2つの材料強度データシート作成では、JIS規格などで確立し、多用されてきた材料の試験を中心に展開してきましたが、内容は社会のニーズに合わせて変化しています。最近では使用される構造材料の利用背景の変化、新構造材料の開発と実用化に伴い、試験内容も変化をえています。具体的にはクリープ試験では21世紀で多用されると思われる高温、超高温材料の試験、疲労試験ではより長時間での疲労試験に取り組んでいます。

本特集号では、それらの試験内容と外部専門家からの金材技研データシートへの意見や要望を紹介しますが、今後高い信頼性をもつ「基準データ」としてのファクトデータの性格を維持しつつ、豊富なデータを利用し、データ解析などの基礎的研究をも併せて進めていく方針です。

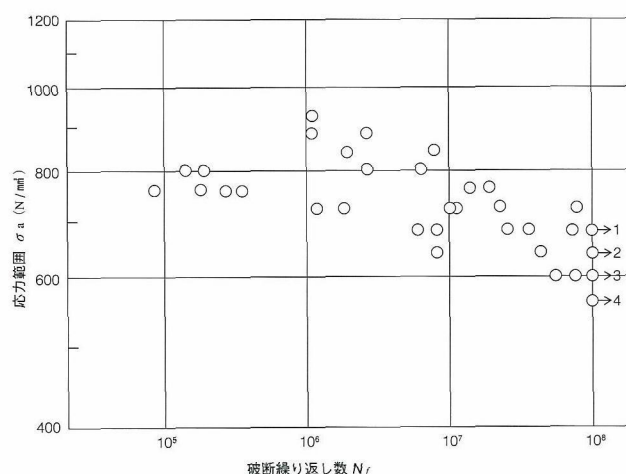


図3 疲労データシートの内容例
SKD11鋼（210℃焼鈍し処理）の回転曲げS-N線図
（No.73 平成5年出版）

材料強度データシート

超10万時間クリープ試験



評価ステーション
阿部 富士雄

おおむね当初の計画に沿って長時間クリープ試験を続け、標準的なクリープ強度データを「金属材料技術研究所クリープデータシート」として出版しています。

試験材料は、当初は主要な耐熱金属材料41材種でしたが、平成元年～2年に3材種、平成7年～8年にさらに3材種加えられました。最近加えられた3材種を表1に示しますが、これらは発電効率の向上によって資源の有効利用やCO₂排出量を低減化できる将来の発電プラントで使用される材料です。今後も、社会的ニーズを十分踏まえながら試験材料を選んでいきます。

クリープ試験は、主として東京の材料試験事務所で、一部はつくばの材料強度棟で行っています。試験機は総数約1000台です。これまで試験した試験片の総本数は1万本を超えますが、このうち10万時間以上試験したのは500本を超え、20万時間以上は約20本に達しています。最長のクリープ破断試験時間は23万時間（約27年間）です。また、全ての試験片の試験時間を積算した総試験時間は約2億時間（2万3000年）にもなります。このように系統的かつ計画的に長

時間クリープ試験を行っているのは現在では世界的に見て当研究所のみとなり、まさしく世界最大規模で最長時間のクリープ試験です。

試験データは、材料製造履歴、高温引張試験データ、組織写真、統計解析結果などと一緒に、材料ごとに初版（1万時間程度までのデータ）、A版（3～5万時間までのデータ）、B版（10万時間程度までのデータ）と逐次出版しています。B版が最終版です。平成8年からは、応力リラクセーションのデータも出版しています。出版は3月末と9月末の年2回行い、年平均3～4冊です。これまで延べ冊数にして110冊を出版しました。配布先は、国内約230ヶ所、国外約200ヶ所の主要な研究機関、政府機関、学協会、大学、民間企業などです。

さらに、クリープデータシートを有効に利用してもらう目的で、プロジェクトの主旨や計画、試験方法、組織観察、データ解析手法などを詳細に解析した資料集「金属材料技術研究所クリープデータシート作成の試験計画と試験技術」も出版していますので利用して下さい。

材 料	用 途
9Cr-0.5Mo-1.8W-V-Nb鋼	超々臨界圧発電プラント
11Cr-0.4Mo-2W-1Cu-V-Nb鋼	同上
Ni-16Cr-8.5Co-Mo-W-Ti-AlNbZrB超合金	ガスタービン

表1 平成7～8年に加えられたクリープデータシート試験材料

材料強度データシート

10¹⁰回長期疲労特性を目指して



評価ステーション
松岡 三郎

四半世紀以上継続した疲労データシートは、材料強度データシート懇談会と検討会を通じ、大学と民間企業の支援のもとに、鉄鋼材料とアルミ合金の基準的な疲労データを供給し、機械や構造物の信頼性を高めることに貢献してきました。また、得られた知見を基に航空機事故を始めとする多くの事故調査を行い、目に見える形でも社会に貢献してきました。

一方、21世紀の社会・経済を考えると、安心して暮らせる社会の構築、エネルギーや資源の涸渇に対する省資源省エネルギー対策が不可欠です。さらに、地球環境の汚染防止に対する取り組みも避けて通れない状況にあります。このためには、より信頼性の高いデータの供給による安全率の低減、機械・構造物のより長期使用のためのデータの供給が極めて重要です。

このような状況の変化を受け、疲労データシートを再開するとともに、新たに基準疲労検討会と溶接継手疲労検討会を設置しました。表1にここ5年間の取り組みを示します。

基準疲労検討会では、常温において10¹⁰回の超高サイクル疲労特性を求めます。疲労データシート再開の一つの契機となった「もんじゅ」ナトリウム漏洩事故においては、疲労破壊したSUS304鋼の温度計鞘管は、試運転時にも拘わらず、流体振動のため、10⁹回以上の繰り返し荷重を受けていました。また、地球環境との関係で、自動車の軽量化が必要です。このためには、高強度鋼の使用が不可欠となりますが、高強度鋼においては、従来10⁷回迄で存在していた疲労限が消

滅することが問題となっています。このような点を考慮し、10¹⁰回の超高サイクル疲労特性を目指すことにしました。高温低サイクル疲労特性においても、今回は10⁷回まで延長することにしました。原子炉が設計寿命に達し、使用延長が検討されていることを考えますと、10⁷回までの高温低サイクル疲労特性の集積は時期を得ています。

溶接継手検討会では、大型溶接継手を用いた試験を実施し、実溶接構造物の疲労許容応力を求めるときの基礎資料を得ることを目的としました。阪神・淡路大震災で高層ビルや高速道路の巨大鋼構造物の被害が溶接部に集中したことを考えますと、このテーマの重要性がお分かりになると思います。

このように、新しい疲労データシートが出発しています。10¹⁰回の疲労特性を求めるには、100Hzの高速試験機でも3年掛かります。この種の長期疲労試験は今までに経験がありません。しかし、得られる成果は高い評価を受け、新規性に富んだものになると期待しています。

表1 長期疲労データシートの取り組み（平成9年～平成13年）

検 討 会	概 要	材 料
基準疲労検討会	機械構造用鋼とチタン合金の常温高サイクル疲労特性並びに高温構造用鋼の高温高サイクル疲労特性を求める。	バネ鋼 SUP12 チタン合金 Ti-6Al-4V フェライト鋼9Cr-2W
溶接継手疲労検討会	溶接構造物を対象とし、アーク溶接によって作られた溶接継手の常温高サイクル疲労特性を求める。	溶接構造用鋼 SM490 HT790 ステンレス鋼 SUS304

材料強度データシート

データシート生産者から



評価ステーション
阿部 富士雄

高温プラントは一般に10万時間クリープ破断強度から計算される許容応力を基に設計されますが、実際には20～30年も使用される場合が多くさらに長寿命化が目指されています。従って、プラント材料を出来るだけ長時間安全に使用していくためには、使用中の材質劣化や余寿命を的確に評価してリプレースの時期を正確に判断する必要があります。新材料を開発する場合も、同様に長時間クリープ強度特性を十分把握する必要があります。ところが、実用耐熱材料は高温で複雑な金属組織変化をするので、短時間データ

から長時間クリープ強度を精度良く予測するのが困難です。このため、データシートの長時間試験データは非常に貴重であり、しかも、プラントを設計するときやプラント材料の経年劣化や余寿命を評価するとき、基準となるデータとして多方面で利用されています。

最近、各種高温材料の設計規格の世界統一化に向けて、許容応力の決め方が国際的な論争になっています。ヨーロッパでは、20万時間のクリープ破断強度を基に許容応力を求めようとする動きもあります。今後は許容応力を検討する際にデータシートの長時間データがますます重要度を増していくと思われます。

データシートは、クリープ強度に関する研究用データとしても国内、国外の研究者に利用されています。最近は、長時



写真 欧米誌「New Steel」（1998年3月号）に紹介された材料試験事務所のクリープ試験室。

間経過後は組織形態に依存しない母相の強度がクリープ破断強度の支配因子となるという「基底強度」の概念が提案されるなど、長時間クリープ強度特性に関して短時間試験では見られなかった興味深い新しい現象がいくつも見出されています。これらは長期使用プラントの強度評価の必要性和相まって新しい研究領域を形成しつつあります。平成11年と平成13年には工業材料のクリープに関する国際会議が相次いで当研究所で開催され、世界的レベルの研究者が多数参加して討論が行われる予定です。

今後は、実用耐熱材料の長時間クリープ強度を組織変化の観察や変形挙動の解析を基にしたより本質的な観点から解明し、耐熱材料の長時間信頼性向上に寄与することが期待されています。

材料強度データシート

人と物の長寿社会の構築



東京工業大学工学部機械宇宙学科
小林 英男

日本社会の21世紀の課題は、人（ひと）の老齢化と物（もの）の老朽化です。人の平均寿命の増大によって、我々はかつてない高齢化社会を迎えつつあります。同時に、戦禍で主要インフラストラクチャーを初めとするすべての物を喪失し、ゼロから出発して建設してきた現在、我々はすべての物が同時に老朽化するというかつてない老朽化社会を迎えつつあります。

人の場合、寿命という言葉が簡単に使われるが、平均寿命と最長寿命は区別する必要があります。平均寿命は100人のうちで50人が生き残る寿命（生存確率50%寿命）で、最長寿命は残された最後の人が亡くなる寿命（生存確率0%寿命）です。人の寿命を決める要因は、生理的老化、死の閾値、ストレスです。特に、ストレスは老化速度を促進します。

物の場合も同じで、物に大きな力（ストレス）を一発加えると壊れます。しかし、一発のストレスで壊れなくても、小さなストレスで使っているといつかは壊れます。壊れる原因は、ストレス、割れ、劣化の共同作用です。ストレスの繰り返し（疲労）、ストレスと腐食の共同作用（応力腐食割れ）ストレスと高温の共同作用（クリープ）が割れのメカニズムで、物はストレスにより傷物になります。また、温度、環境、放射線による物の性質の経年変化が劣化のメカニズムで、物は劣化によりスカスカで脆くなり、ある日突然破壊します。これが物の寿命です。

人と物の寿命を決める要因は、驚くほど類似しています。ストレスは共通であり、生理的老化が割れに、死の閾値が劣

化に対応していると考えられます。

物にも最長寿命と平均寿命があります。物の最長寿命は期待される寿命であって、設計寿命といい、我々が任意に選択し、設定することができます。物の平均寿命は意味がなく、大半が壊れない寿命が必要であり、これを保証寿命といいます。具体的には、大半の程度を安全係数で表し、設計寿命を安全係数で割った値が保証寿命となります。

物を構成する材料の寿命を知ることなくして、物の寿命は予測できません。材料の寿命を調べる上で重要なポイントは、以下の2つであります。

(1) データの範囲

(2) データの信頼性

(1) は広いストレスの範囲にわたって寿命を調べる必要があることで、長時間／長寿命のデータの採取が特に重要です。(2) は保証寿命の設定に関連して、数多くの試験片を用いてデータのばらつきを調べる必要があることで、試験片数は多ければ多いほどよいのです。

我が国において、この大変な仕事は、金材技研の材料強度データシート活動によって支えられてきました。進行中の老朽化社会を健全な長寿社会に転ずるために、物の寿命を保証する材料強度データシート活動の重要性はますます増大していきます。人と物の長寿社会の構築のために、がんばれ金材技研。

材料強度データシート

設計基準への反映（ASME許容応力）



三菱重工業株式会社
増山 不二光

社会基盤を支える設備および機械は、安全に使用されなければなりません。特に高圧力設備や高速回転機械が破損した場合には、甚大な被害をもたらすことから、その安全性確保のための規格、基準が強く求められます。規格、基準化の動きは、ボイラの破裂事故が急増していた1800年代末の米国で起こりましたが、その当時、ボイラの破裂事故によって多数の犠牲者が出ました。

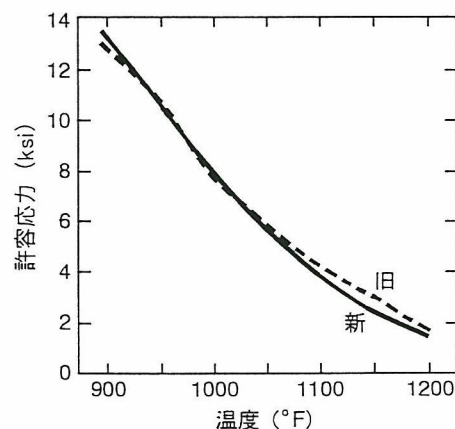
このような状況の中で、1911年に米国機械学会（ASME）では委員会を設置し、各種の設計基準の制定、発行を開始しました。現在では全11巻に及ぶ膨大な規格、基準（ASME規格）が発行されていますが、今や、これらは米国内だけでなく、世界的に最も権威あるものとなっています。

ところで、設計基準の基本となるのはそこで使用される材料の強度です。設備や機械の製造においては、破損を防止するために優れた品質の材料を使って、“安全上許される範囲の応力”が負荷されるように設計しなければなりません。これは“材料として許容しうる応力（許容応力）”であり、その値を各材料に対して、室温から最高使用温度までの各温度において設定する必要があります。この応力を決定するのは引張強さ、降伏強さ、10万時間でのクリープ破断強さおよびクリープ変形強さのいずれかであり、膨大な数の試験データが必要になります。世界各国で試験データを取得するために多くの努力が払われてきていますが、特に約12年間に及ぶ10万時間でのクリープ破断強さを求めることは容易ではありません。

我が国の設計基準が拠りどころとして

いるASME規格では、許容応力が適正であるかを最新のデータによって確認していますが、データベースが乏しくなった米国においては金材技研のデータシートが大きな役割を果たしています。約10年前までは1960年代にまとめられたASTMのデータをもとに許容応力が設定されていましたが、最近では金材技研のクリープデータシートと疲労データシートがASMEボイラ・圧力容器規格委員会の各委員によって盛んに引用されるようになり、許容応力設定のためのデータベースとして中心的な役割を担っています。

図は、1991年に改訂されたボイラ・圧力容器用2.25Cr-1Mo鋼の新旧の許容応力を比較して示します。旧許容応力は1960年代に作成されたASTMのデータで設定されたものですが、新許容応力は金材技研のデータを含めて設定されたものです。このように長期間に亘って地道に取得された金材技研データシートは今後も設計基準の根幹をなす許容応力の設定にますます利用されていくと考えられます。



金材技研のクリープデータを用いて改訂された2.25Cr-1Mo鋼のASME許容応力

材料強度データシート

材料開発への利用



住友金属工業（株）
榎木 義淳

構造材料のクリープや疲労特性に関する標準的なデータベースは、機器や構造物の設計および安全性の上から欠かすことのできないものですが、その試験は高度な技術と複雑な設備に加え、長い試験期間を要するものです。また、これらのデータは公正かつ中立な立場で得られる信頼性の高いものでなければならぬため、民間機関でのデータ取得には限界があります。したがって、これら標準データシートの整備は国の責任のもとに行い、いわゆるナショナルデータ的な性格のものでなければなりません。25年以上にわたって作成されているNRIM材料強度データシートの成果は正にこの要求に応えるものであります。

本データシートの最大の特長は、国産の実用金属材料を対象とし、試験材料はすべて

商業規模で製造された製品(管、板、棒、鍛造品、鋳造品)であり、かつ、鋼種毎に多数ヒートの製品を用いて試験を行っている点が挙げられます。以前はASTMデータが世界の標準データとの認識でしたが、これら試験材料の中には実験室規模の材料が含まれており、かつ、長時間側データも必ずしも充分とは言えませんでした。特に、10万時間を超える極めて長時間のクリープデータの揃ったデータシートは国内外において皆無と言って良く、かつ、各種特性のオリジナルデータも明記されているため、利用者にとっては幅広く活用できる貴重な参考資料となっています。例えば材料製造企業では、実プラントで長期使用された材料に関する調査を行う場合が多々ありますが、自社データベ-

スに加えてNRIMデータベースを提示することにより信頼性の高い評価が可能となるため、頻繁に活用させてもらっています。

また、このクリープデータシート活動を通じて得られた材料毎の破壊機構領域図やフェライト系耐熱鋼の基底クリープ強度概念の提案などは、民間企業では到底困難な長時間に亘る系統的なデータベースがあって初めて明確にされたものであり、社会への貢献度は計り知れないものがあります。同じ規格鋼であっても、鋼中に含まれる微量不純物量や熱処理条件のごくわずかな差によってクリープ破断強度が大きく異なるという知見も代表的な成果事例の一つです。

これらの成果は、材料製造企業にとって大いに教訓となり、その後の製品の品質安定製造技術の向上や新しい耐熱金属材料の研究開発の効率的推進に結びついたと言っても過言ではありません。

今後のエネルギー需要の増加やエネルギー源の多様化を考えると、耐熱材料については、ますますユーザーニーズが高強度・高耐食化し、新しい成分設計による新材質が多く実用化されていくことが予想されます。したがって、このような新材料の標準データシートの作成も含めて、工業技術のさらなる進歩・発展のために充実したデータシート作成活動が今後も継続して行われることを念願しています。

材料強度データシート

発電プラントの定検合理化と延命化のために



(財)電力中央研究所
新田 明人

運転時間が10万時間を超えた火力発電プラントのことを経年火力と呼んでいます。これは、火力発電設備用の設計基準では高温域（400～500℃以上）の許容応力が使用材料の主に10万時間のクリープ破断強度から決められており、設計上では少なくとも10万時間の寿命が見込まれていると考えられるからです。勿論、設計許容応力には安全率を掛けますので、10万時間で直ちに寿命が無くなるわけではありません。現在、全火力発電プラントの約7割が経年火力であり、20万時間以上運転されたものも1割程度を占めています。このような経年化は年々進んでいますが、経年火力には主に空調による電力のピーク需要等を賄うという重要な役割もあり、その延命化が図られています。

一方、最近の規制緩和の動きのなかで、火力発電プラントの自主保安を重視し、

経年火力を含めて定期点検の間隔を延ばすことができるようになりました。

このような経年火力の延命化や定検合理化を行う場合、運転中の安全性・信頼性を常に保つことが重要です。そのため、人間の健康診断と同様、経年火力の設備診断・余寿命評価が必要となります。

経年火力の余寿命評価には破壊法、非破壊法と解析法が用いられます。このうち、破壊法では、損傷部から切り出したサンプルを用いてクリープ試験を行い、その結果を使用前のデータと比較してクリープの余寿命を求めています（図1）。この使用前のデータとして金材技研のクリープデータシートがよく利用されています（図2）。また、解析法は、電算機によって対象機器の使用状態を求めた後、使用材料のクリープデータから余寿命を計算するものですが、そのデータとしてもデータシートが活用されています。

このように金材技研のクリープデータ

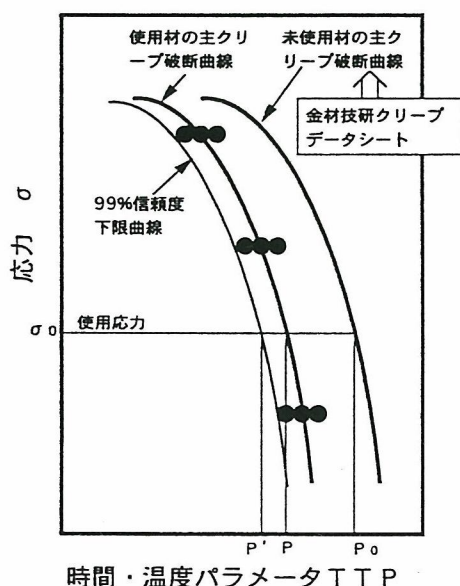


図1 破壊法によるクリープ余寿命の評価

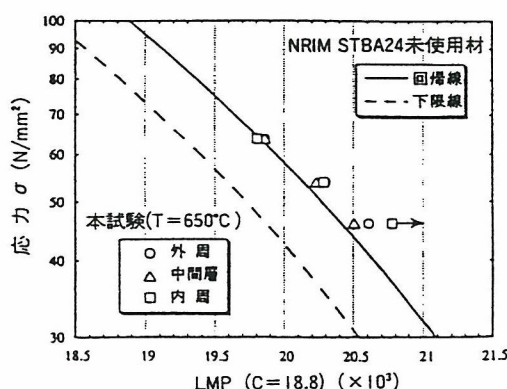


図2 経年火力ボイラヘッドの母材部（内外周と肉厚中央）から切り出したサンプルのクリープ破断データと金材技研データを比較した例

シートは火力発電プラントの余寿命評価等に役立てられており、今後もさらにデータが拡充され、長時間データから初めてわかる損傷劣化状態等の様々な情報が発信されること大いに期待されます。

(出典：藤井ら、火力原子力発電、49-499（1998）,p417.)

材料強度データシート

リスク評価に長時間クリープデータは不可欠



(株) ジャパンエナジー
野村 徹

リスクベースインスペクション(RBI)：

最近、リスクベースインスペクション(RBI)と呼ばれる手法が、石油精製の分野で注目を集めています。設備の補修、取替え判断や、検査の時期の決定を行う時には、設備や部材の寿命を如何にして正確に決定するかが重要です。現在、アメリカ石油協会(API)が、作成中のAPI RP 580: Risk Based Inspection では、評価すべき損傷シナリオの一つに、クリープ損傷を明記しています。実際の評価は、同じく作成中のAPI RP579: Fitness for Service の第9章で、装置や部材の損傷評価が出来る手法を提示しています。(これらは、99年後半には、発行される予定)

石油精製装置の中でクリープ温度域に使用される代表的なものは、加熱炉チューブ、連続接触改質装置、リフォーマー装置及び水素発生装置があります。これらの装置や部材は、20年以上の長時間の使用後に、取り替え、補修の判断をしなければならず、ここ数年評価を行う事例が増えてきています。

金材技研クリープデータシートの役割と期待：

設備の補修、取替え判断の決定を行う時の、設備や部材の寿命の決定には、信頼性の高いデータが有るか無いか重要です。現在企業が用いることの出来るクリープデータは、金材技研が発行しているものと、材料メーカー各社が独自に行ったものがあります。現在、寿命の推定を行う場合、これらデータから、次のシャットダウンまで安全に運転できるか否かを計算することになりますが、現状はデ

ータの最低値を用いた安全サイドの評価をしています。このため金材技研クリープデータシートのような信頼性の高い長時間データは貴重です。しかしながら、クリープ寿命評価にあたって材料には溶解の違い、化学成分のバラツキ、熱処理温度の違いがあり、これらがクリープデータのバラツキの原因になっています。

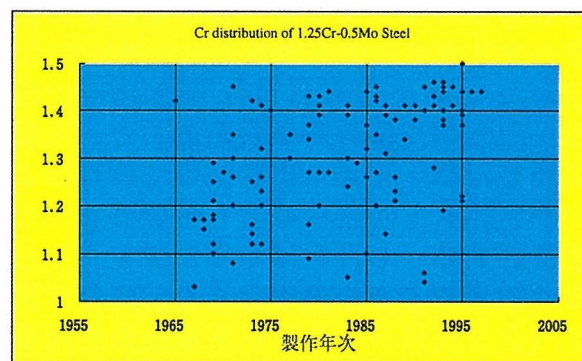


図 国内の1.25Cr-0.5Mo圧力容器用鋼のCr含有量のバラツキ

図のような事例では、Cr含有量は、1.0%～1.5%の間でバラツキがあり、同じ熱処理を行った場合でもクリープラプチャーデータは、設計応力レベルで数万時間以上の違いが現われます。バラツキの原因が明らかにならなければ、十分な余寿命を有している機器を取り替える判断をしてしまうことに成りかねず、資源の無駄遣いをするようになります。

今後、金材技研クリープデータの解析が進み、このようなバラツキを評価出来るデータベースとなることを期待しています。

材料強度データシート

溶接構造物の設計製造



石川島播磨重工業
樋口 洵

構造物が長時間の供用中に破損する原因は、疲労、クリープ及び腐食（応力腐食割れも含め）が大部分です。いずれも時間依存の現象であり、長い場合には数年から数十年の使用後に破壊するケースも珍しくありません。一方、現在の構造物はほとんど溶接構造であり、溶接部には形状不連続、材質不連続、溶接残留応力あるいは溶接欠陥といった問題があり、これらはいずれも上記損傷を加速する因子となります。構造物のメーカーとしては、壊れない物を作らねばなりません。設計・製造の規格・基準が確立している物については、それらに基づいて作ればよいが、これらが全て確立しているような物は、全体から見ればわずかです。やむなく類似の基準を流用したり、既存データ（金材技研データシートも良く利用する）を参考にして設計製造することになるが、実際問題として損傷は後を絶ちません。多くの場合、設計製造段階での検討不十分が原因ですが、時には既存データからの予測を上回る特性の劣化も見られます。前者の場合は自らの努力で解決を図れるが、後者の場合は一企業ではどうにもならないことが多い。特に応力に依存して寿命が左右される疲労とクリープで問題が多い。原因の多くはデータ不足です。例えば、10万時間を超えるようなクリープデータ、 10^8 サイクルを超える疲労データ等は世の中に非常に少ない。通常このような長時間側は短時間のデータから推定する方法をとります。しかしこの推定が必ずしも保守的でないことが、近年のデータで裏付けられており、やはり実際のデータによる確認が必要です。

このようなデータは非常な長時間を要するため、民間で採取するのは不可能に近い。民間が金材技研に最も期待する分野の一つです。

また溶接残留応力と形状不連続が重畳した場合の継手の疲労データ等も不十分です。不十分とは従来の実験室的データを下回る構造物のデータがあり得るということです。図に小口径管ソケット溶接継手の疲労強度に及ぼす溶接残留応力の影響についての最近のデータ例を示します。この場合、最悪ケースの疲労強度減少係数は、これまで設計で設定していた割増し係数を上回っていました。すなわち既存の設計基準の見直しが必要なことを物語っています。金材技研もこの分野には注力しているとのことなので、大いに期待しています。

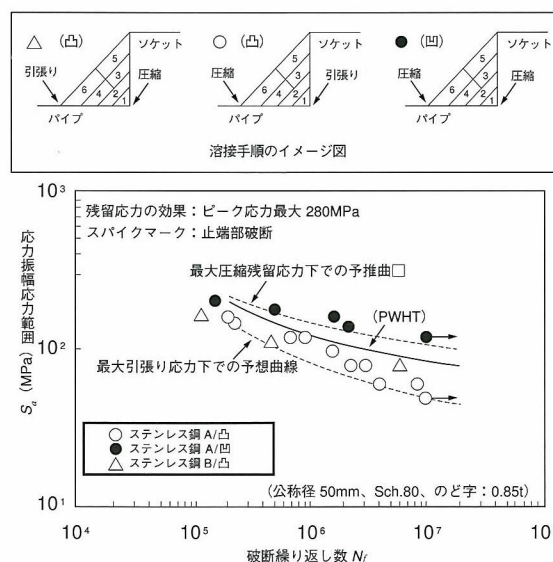


図 ソケット継手の疲労S-N曲線におよぼす溶接残留応力の影響
(材質：SUS316ステンレス鋼、公称径：50mm)
Higuchi et al., J. of Pressure Vessel Technology,
Vol.120, No.2, p.157,1998

材料強度データシート

データシートの公表と展開

1. データシートの公表

金材技研材料強度データシート及びデータをまとめた参考資料としてのデータシート資料は、図のように製本され、発行の都度、国内約230ヶ所、海外約200ヶ所の大学、企業、規格関連機関などに送付されております。またこれまでの試験内容や発行されたデータシートは金材技研のホームページに掲載されています。（ホームページでは、内部の詳細なデータは見ることは出来ません）

外部機関への提供も行っています。科学技術情報センターでは、全部ではありませんが、そのままのデータを入手することができます。また疲労データは、材料学会の疲労データ集にも取り込まれています。

金材技研のデータシートは、冒頭の記事でも記しましたように、ファクトデータをそのまま掲載し、利用はユーザサイドに任せる形式にしています。利用方法は企業での強度データベースに組み込まれ設計のための参照データとして利用されていると思われます。また規格機関においても利用されていると思われます。従来金材技研がデータを規格に反映させる直接的な努力は行ってきませんでした。が、今後は可能な限り国内外の規格に反映させる方策を模索していく予定です。

2. データ内容の充実

30年以上にわたって収集してきたクリープデータシートは、従来破断データのみを収集してきました。しかし高温プラントの延命化、寿命予測が要求されるようになった現在、クリープ挙動の途中経過のデータに対するニーズが高まってき

ています。そこでクリープ中の伸びのデータ、組織変化を収集する努力を重ねております。前者はデータシートとして発行する方向で検討していますが、後者は資料集の形式での発行を予定しています。

一方疲労データシートは、従来わずかな研究結果しか報告されていない長期の疲労データの収集を目的としているため、試験方法の妥当性や新しい試験方法の導入などの検討も必要です。これらは従来型データをつき合わせながら新方法の妥当性の検討も行う予定です。

3. データ解析研究への展開

今日まで膨大なクリープ及び拾う疲労データが蓄積されており、また新たなデータも蓄積されております。これらを利用した、損傷、破壊機構や余寿命予測などの基礎的研究も積極的に実施しています。これらのデータ解析結果はデータシートの性格にはそぐわないため、現在は学会発表で積極的に公表しています。しかしデータの有効利用を図るためその解析結果、データの利用方法、あるいは新試験法などをまとめたアウトプット方法についても今後検討して行く予定にしています。

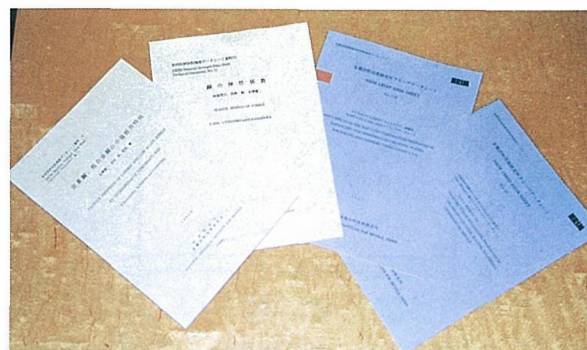


図 材料強度データシート

絶縁体から超伝導へ—
光で探る道標

—酸化銅CuOの光物性—



機能特性研究部

眞 隅 泰 三

現代オリンピックで、金、銀、についての地位を維持している銅は、日常生活でも鉄と並んで非常に大切です。しかも一方では、絶縁性半導体である亜酸化銅Cu₂Oや酸化銅CuOになり、多彩な物性と応用を示します。(天然には前者は赤銅鉱(Cuprite)、後者は黒銅鉱(Tenorite)として産出します。)そこで我々は、これまでの亜酸化銅Cu₂O結晶の研究の他に、最近特に金属酸化物としての酸化銅CuO結晶についても浮遊帯溶解法で試料を作製し、これらについても基礎的視点で光物性の実験的研究を行っています。

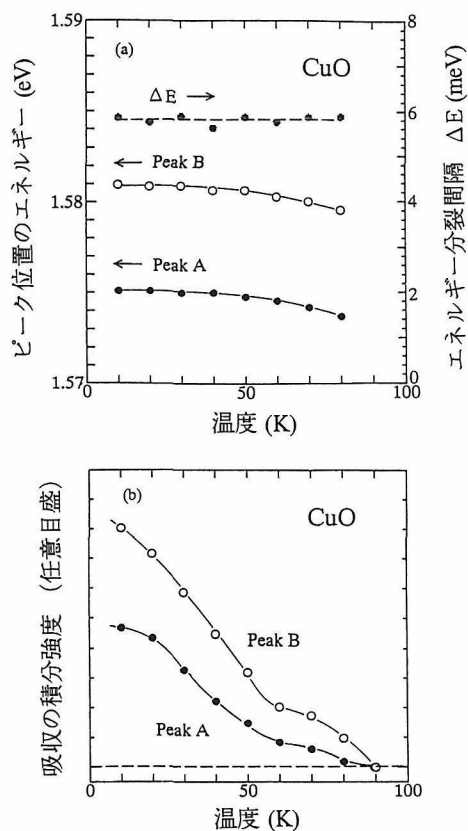


図2 CuOの基礎光吸収端の微細構造の位置と積分強度の温度依存性

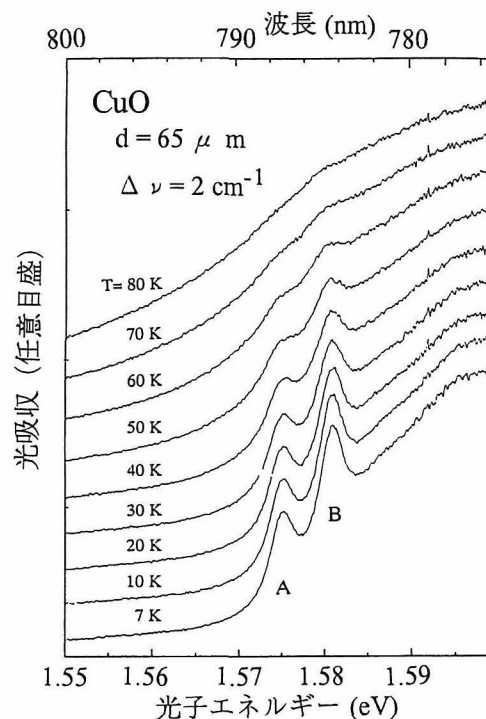


図1 CuOの基礎光吸収端の微細構造

成果の一つは、7K-300Kの基礎光吸収端の温度依存性に新しい微細構造 Peak A, B が存在することを発見したことです(図1)。ここではその詳細を考察するために、微細構造の位置と積分強度の温度依存性を詳しく調べた結果を図2で示します。

まず、新しく見出された Peak A, B のエネルギー位置の温度依存性でこれらの Peak が現れる温度領域90K以下では、A, B の間隔 $\Delta E = 5.86 \text{ meV}$ は殆ど温度に依存しません。図2の Peak A, B の積分強度の温度依存性では両者がともに90K以下、60K以下の2段階で現れて成長し、7Kでもあまり急激には増大する兆候は見えませんが、実験誤差は測定点の大きさより小さいことが確認されています。

我々は上記の結果をもとにCuO結晶のエネルギー状態についての知識を追求しています。図1の構造は、例えば(1)半導体の帯理論による直接許容型励起子 $n=1$ 状態が吸収端の長波長側に現れたものか、(2)反強磁性絶縁体CuOでのCu(3d)-(2p)混成価電子帯で、スピンの傾きによる弱い強磁性をもつ局在状態によるものか、などが考えられます。現状はどちらかといえば(2)に近く、また固定したエネルギー帯(rigid bands)ではない可能性があります。なおこれらの機構をさらに解明するには、強磁場下での分光測定などが有力です。

光伝導 (ミリ波までのサブナノ秒領域)

でのこの温度領域を観察すると、励起光波長により少し差があるものの、図3に示すように、Cu₂Oと同様にやはり100K以下で異常な振る舞いを示します。(殆どの光伝導体では信号は温度減少とともに消滅します。) また、磁場を加えることによるHall効果の観察では、その符合から坦体が正孔であり、その易動度が $T=4.2\text{K}$ で $10^4\text{cm}^2/\text{Vsec}$ に及ぶことから、坦体は大きい正孔ポーラロン(衣を着た正孔や電子などの坦体)であり、それらがかなり広いエネルギー帯で運動することが示唆されています。一方これらの亜酸化銅Cu₂O

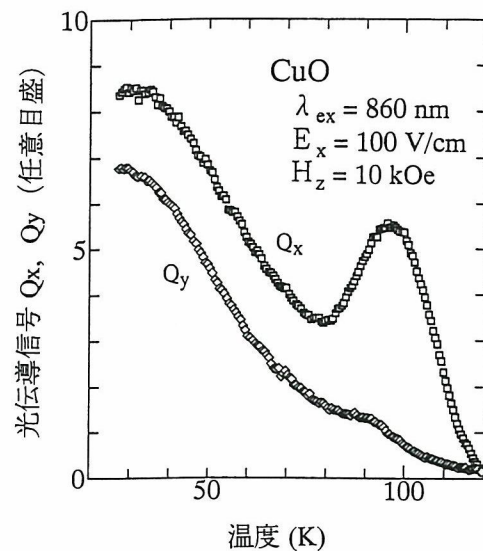


図3 CuOの光伝導QxとHall信号Qyの温度変化

や酸化銅CuOは、高温超伝導体の原材料です。例えば、Y₂O₃, BaCO₃を適量の組成比で混合し、適切な温度で固相反応を起こさせると、臨界温度60K、90Kの超伝導セラミックスYBaCuO_{7-δ}が出来ます。しかしそれらの萌芽は、既に図1～3の光物性に現れているようにも見えます。実際、常圧と高圧下でそれぞれ作成されたSrCuO系では、典型的な光伝導の異常と超伝導の出現の対応が観測されています。自然は光で探ると、案外意味深長な道標を与えているのです。

なお、これらの現象の応用として図4のように同じCu-O系列で整合性のとれたCu-O系絶縁体やCu₂OとCu-O系超伝導体を組み合わせた“超伝導光エレクトロニクス素子”の基本特許が日本、アメリカ合衆国、カナダ、EPCをふくめて、既に12件以上が成立しているので、高密度高速光コンピュータなど、その実用化が大切になります。

21世紀に向けての研究には、基礎にも応用にも、いろいろな角度と波長での視点が必要になります。

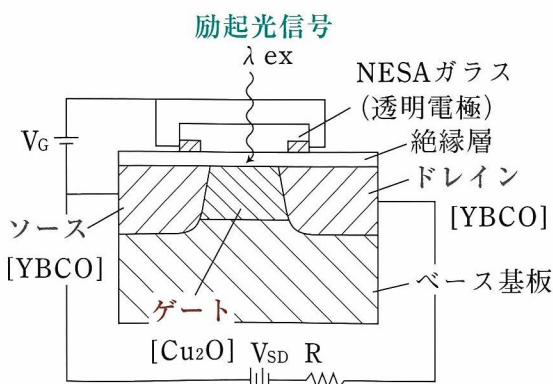


図4 超伝導光エレクトロニクス素子の基本構造の概念図；例 Cu-O系

特許速報

●登録

(国 内)

発明の名称：超電導装置用クライオスタット

登 録 日：平成10年3月20日

登 録 番 号：特許第2760858号

発明者氏名：井上 廉、木吉 司、他3名
(株)日立製作所との共有特許権

概 要： 本発明は、液体ヘリウムにより被冷却体を冷却する超電導装置に係り、特に、超電導コイルの冷却に好適なクライオスタットに関するものであり、超電導マグネットの冷媒である液体ヘリウムの圧力を大気圧から大気圧以下の所定の値に設定保持し、かつ、その液位も所定値に設定保持することにより安定して動作する超電導マグネットを提供し、さらに超電導マグネットの冷媒として、通常の液体ヘリウムでも超流動ヘリウムでも使用できる大型のクライオスタットを提供することを目的とする。

(外 国)

発明の名称：減速集束イオンビーム装置

登 録 日：平成10年5月5日

登 録 番 号：米国特許 No.5,748,360

発明者氏名：知京 豊裕、小口 信行

概 要： 本発明は、基板上への微結晶の選択的成長やデバイスの微細加工等に有用な、新しい減速集束イオンビーム装置に関するものであり、減速されたイオンビームを被加工対象である基板に照射し、イオンを基板表面に直接蒸着させる方法等に係わる技術である。

本発明では、従来技術の欠点を解消し、ビーム径が広がることを防ぎ、また基板近傍で発生する2次電子の基板への衝突を防止し、さらには他の装置との組み合わせが容易な、新しい減速集束イオンビーム堆積装置を提供することを目的とする。

受賞
Congratulations!

超伝導科学技術賞 戸叶 一正

ビスマス系2212高温超伝導テープの開発に関する卓越した業績をあげ、その発展に貢献したことに對して、上記の賞を受けた。

表紙説明

炭素鋼、試験温度400℃、応力294MPa.
232,983.5h(約27年間)試験して破断した試験片。

■編集後記

当研究所のクリープ試験と疲労試験は世界最大規模で行われており、試験結果をクリープデータシートと疲労データシートとして発刊しています。今回は、当研究所の職員や外部からの声を交えて、材料強度データシート(両データシートの総称)とはどのような物かをお伝えできたと思います。

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL.(0298)59-2045 FAX.(0298)59-2049
ホームページ <http://www.nrim.go.jp>

通巻 第477号 平成10年8月発行
編集兼発行人 細川洋治
印刷所 前田印刷 株式会社