

試験機の絵本

しけんきのえほん

高温クリープ試験のあけぼの ～第1回：試行錯誤(前編)～



『試行錯誤』この四文字熟語はTrial and Errorの日本語訳で、辞書によると「実際にやってみて、失敗しながら目的に達する方法」とある。

筆者が他業種から転入してきて、いきなり外国から導入された新技術(高温クリープ試験の電気炉と精密温度調節器)へ挑戦した昭和35年(1960年)は毎日が試行錯誤の連続だった。

当時勤務していた会社は東大無線(株)という電気メーカーで、日立製作所のテレビ部品の下請けをしており、自身は電子学園の夜学の講師を週3回ほど勤め、テレビ受像器も10台ほど作っていた。

この「高温クリープ試験機」プロジェクトとの出会いは、電機部品のことで東京大学冶金学科の藤田さんが来社された時の会話で「試験機の電気関係を専門とするメーカーを探しているところですよ」と聞いたことだった。向上心に燃えていた小生は、社業のテレビ部品がやや停滞気味でもあったので、この新しい仕事に取り組むことを社長に提案した。

それにはまず未知の分野であるクリープ試験そのものを知る必要があり、東京大学冶金学科4号館で機械を見ながら基礎となる説明を聞いた。

■未知との遭遇

「硬きこと鋼鉄のごとし」という言葉は、硬い、そして不変の代名詞に使われているが、その鋼鉄でも抗張力を越えて引っ張られると千切れる。しかし、それ以下の力でも継続して負荷すると時間に関連して静的に伸びる。これがクリープ(Creep)現象といわれるもので、この呼び名には「這う」とか、地質学でいうところの「漸動」の意味もある。常温での伸びは1000～10万時間で1%という微量であるが、温度を上げると伸びも加速され、範囲も拡大して、この伸びは残留蓄積される。さらに温度を上げると強度が低下してラプチャー(Rupture)と呼ばれる破断に至る。

原子力、宇宙開発、航空機、自動車、鉄道、巨大構造物などの急速な発達に伴い、周辺技術や素材にも過酷な要求が多くなった。高温で耐久力のある耐熱鋼もその一つだった。新材料は試験によるデータを元にミクロンオーダーの設計加工をされて精密用途に対応している。

その材料研究の一つが「高温クリープ試験」で、当時東大冶金学科ではその耐熱鋼の開発も目的としており、後のTAF鋼はまさにその成果だった。

第二次大戦終結後に得られた外国からの情報によると、我が国の高温クリープ試験のデータは質量共に諸外国のレベルから大幅に遅れている事がわかった。このテーマは時間との戦いだけに、英国では10000時間の研究データもザラにあることを知り、心ある技術者は驚愕した。

当時の日本は戦後の復興も半ば、産業立国を目指して前進中であつた。耐熱鋼研究もその一つとして優れた研究開発をしなければ輸出だけでなく国内需要にも応えることが出来ない、まさに危急存亡の時で、試験機の台数を増やし休むことなく運用することが急務となった。

我々は当面の間、急いで電気系の生産体制を整えることになった。

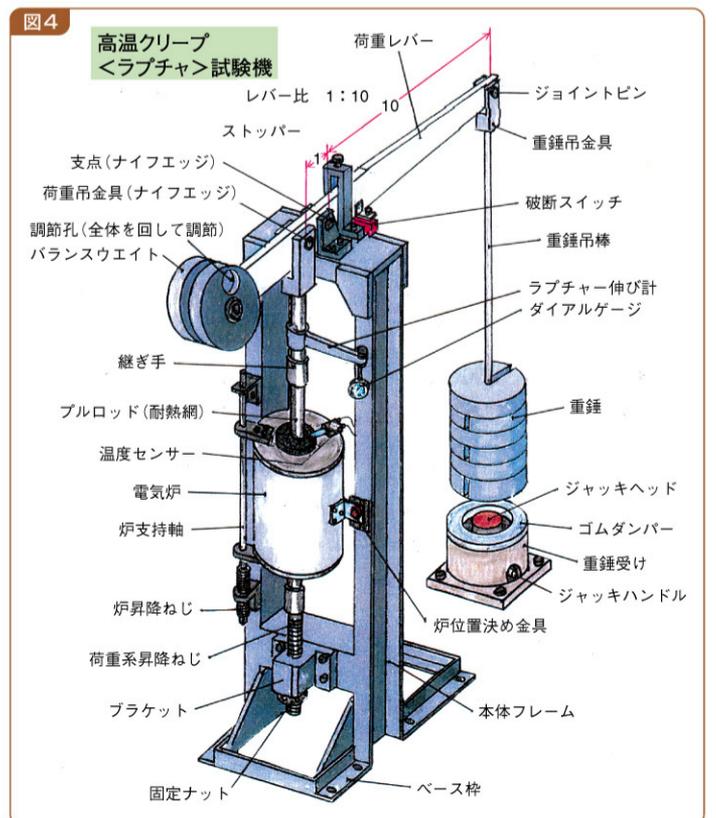
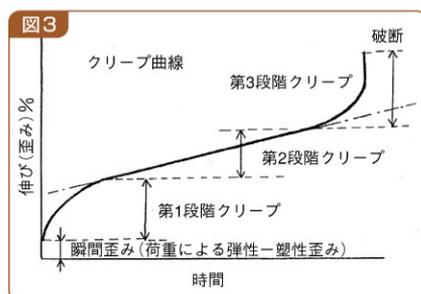
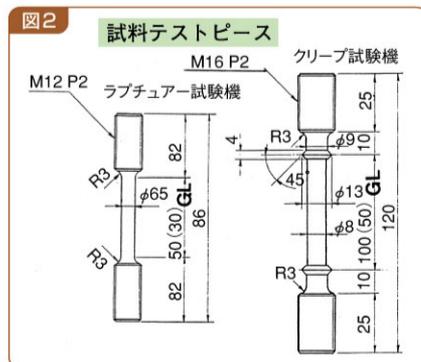
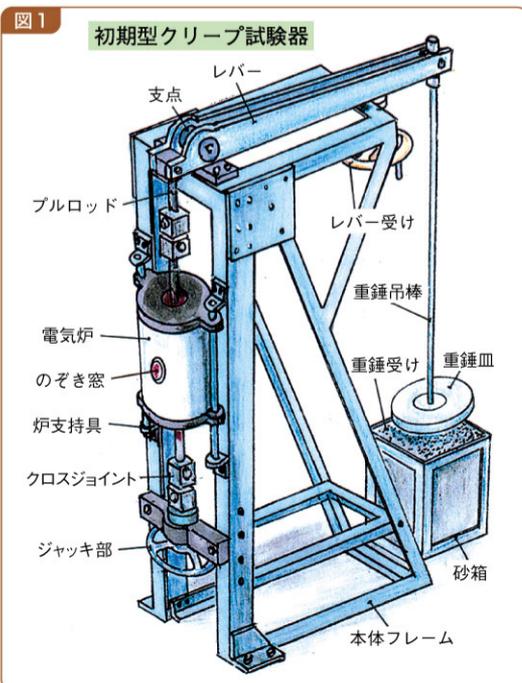
■中心のプロジェクト

プロジェクトは芥川教授を中心に、後に教授となられた藤田さん、竹村さんをメンバーとして真剣にねばり強い研究が始められていた。徹夜の仕事もあつたが、竹村さんは第二次大戦中に海軍士官として航空母艦「信濃」で服務中に攻撃を受けて艦が沈没する際、海面に漂う重油を飲んだために体調を崩し医者通いをしながらの勤務だった。

敗戦後で未だ充分に環境も整っていない研究室の中で、協力企業である三菱重工業・横浜造船所に製造依頼した8台のクリープ試験機を中心として、手作りの部品や各種メーカーから集めた機器をまとめ上げた装置で運用されていた。象徴的な例では、試料が破断した時の重錘受けダンパーは木製の砂箱で、中に入れる砂を河原から背負って持ってきたことさえあつた。

クリープ試験への急を要する声がかかりで各鉄鋼関係企業の関心がにわかに高まり、試験機メーカーも色めき立った。島津製作所、東京衛機製作所、(旧)三精工業、東京試験機、(旧)森試験機、東伸工業などで研究開発が立ちあがったが、高温制御で戸惑っている様だった。逆に我々は試験機製作が主体となるので、ちょうど東京大学に来ていた島津製作所の松下さん(後の工場長)と話し合いの上、関係が成立し、さらに紫野工場、東京支社から友愛のこもったご支援、ご協力を得ることになった。

この試験機が目指すデータは、最終的に長期間一定の荷重と温度をかけ、試料の伸びを精密に計測することにあるので、機械と電気メーカー間の密接な連携が必要と思つた。



クリープ試験への導入

標準のクリープ試験の試料(図2)は両端のねじにより試験機に取り付ける。ねじ部の近くのそろばん玉状の鏢(つば)は伸び計測治具を取り付けるための物で、その間隔をGL(標点間)と呼び、一般的には100mmとなっている。

試験結果の伸びは図3の様に3段階になる。ただし、この時間は温度/荷重にもよるが長い場合で10000時間にもなり、時の神様クロノスの司る長いタイムレンジである。その間試験条件を一定に保持することは想像以上に難しいが、時間がパラメータである限り、途中の失敗は許されない。前述のように、機械部分は専門メーカーによるもので、産業機器レベルの試験機(図4)はチャンネル溶接構造のフレームに固定したナイフエッジを支点とした1:10の梃子比を持つ、梃子/重錘形の引張試験機で1~3トンの各種がある。試料を中間に入れたプルロッドの上下をピン繋ぎをして、弦(String)を形成している。

梃子には重錘と逆側にバランスウエイトがあり、ゼロバランス状態ができる。正面中央に試料加熱用電気炉が取り付けられている。

電気炉

電気炉はこの試験の中核となるものであるが、他に手本となる既製品もなく、ゼロからのスタートで試行錯誤の連続となった。

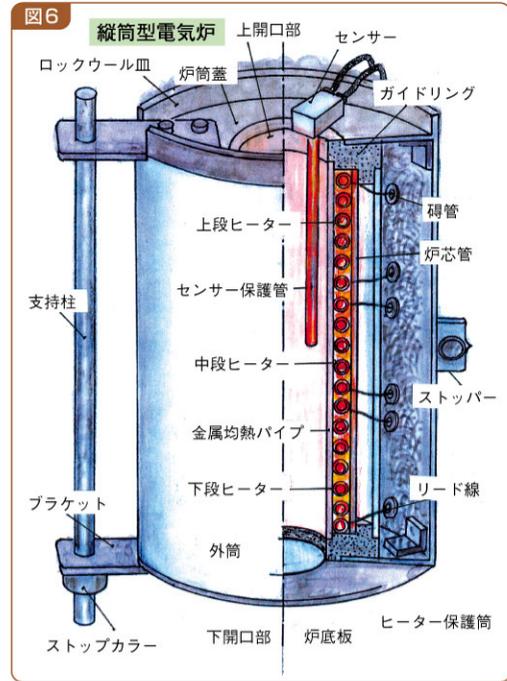
目標の仕様は、縦筒形で内径75mm、外形220mm、高さ400mm、温度max900℃に設定し外注するつもりだった。しかし基本を学ぶためには理論より実行と、作り始めた炉は実験用を含め30本を越えた。

実績は大量な研究資料(図5)として残ったが、それでも最後まで結論が出なかったのは、筒形のままか二つ割り形にするかだった。それは耐久性+経済性を採るか、使い勝手を採るかということだが、結局は両方を製作し筒形を標準(図6)として生産した。

内部の金属パイプは均熱用であり、ヒーターは3段独立で、上には煙突逆効果を防ぐためのロックウールを載せる皿がある。制御用の温度センサーは

図5

番号	検出材料	検出形状	検出径	長さ	外径	高さ	温度	空焚時間	検出回数	備考
121-66	T	検出	3	20	220	400	900°	200A	100°	
121-67	CR	"	2	70	"	300	"	"	"	
121-68	"	"	8	検出	3	"	350	"	"	
121-69	T	検出	2	"	"	"	"	"	"	
121-70	"	"	1	70	"	"	"	"	"	
121-71	TH	5	検出	60	"	250	1000°	"	100°	
121-72	"	1	検出	70	"	250	900°	"	200°	
121-73	CR	P	検出	2	70	220	900°	"	100°	
121-74	"	1	2	70	"	250	900°	"	"	
121-75	TH	"	検出	3	60	"	1000°	"	"	検出器組込 台布巻く等
121-76	EX	"	検出	1	70	"	300	200°	"	
121-77	T	"	検出	2	70	"	900°	"	"	
121-78	"	"	1	60	120	150	900°	"	"	
121-79	CR	"	2	70	200	250	900°	"	"	
121-80	"	"	3	70	220	250	1000°	"	"	梃子実験用組込
121-81	RH	"	"	"	"	300	1000°	"	"	
121-82	ON	"	1	65	180	180	600°	"	200°	
121-83	CR	10	検出	2	70	220	200°	"	100°	
121-84	CR	1	検出	2	60	200	200°	"	200°	ヤスレ/巻
121-85	RH	"	2	70	"	200	1000°	"	100°	
121-86	CR	"	2	60	250	900	"	"	"	
121-87	T	"	1	2	100	250	600°	"	"	巻
121-88	TH	"	検出	2	70	220	900°	"	"	
121-89	T	"	検出	2	70	220	600°	"	200°	
121-90	"	10	検出	"	"	900	1000°	"	"	金研室
121-91	"	"	"	"	"	900	900°	"	"	
121-92	TH	2	検出	1	70	"	600	1000°	"	
121-93	"	"	1	60	"	650	1200°	"	200°	
121-94	OK	5	検出	1	"	"	900°	"	200°	
121-95	OR	5	検出	2	"	250	"	"	100°	
121-96	T	"	検出	2	70	"	600	"	"	
121-97	無引	"	検出	6	20	"	200	"	"	ノック器付
121-98	検出	"	検出	1	70	120	900°	"	"	



炉に取り付けてあり、測温熱電対は試料に付ける。

※電気炉は納入後の運用に多くのノウハウがあることもわかった。例えば、上の皿のロックウールがずれた場合の温度分布変動は顕著で、それはまるで生き物の様だった。

温度精密計測

精密に温度を測定する必要があるので、当時としては最も信頼がおける電位差計方式(図7)とした。セレクターで熱電対を選び電位差計のダイヤルを回し、ガルバノメーターの光がスケールの中心(ゼロ位置)時のダイヤル目盛りを読み取る。しかし現代はデジタル指示計があるのでこれらの装備は必要ないと思うが、1℃単位での読み取りが必要である。

温度制御はこのプロジェクトの中で最も重要な部分であるが、当時一般の温度調節器はON/OFF式が主流で、制御精度や耐久性の面でクリープ試験の要求には応えられない実状だった。芥川教授が調査し、導入され、東京大学で国産化したLEprosserという方式が好成绩とわかり、試作機(図8)の提示を受け

て、これまでになかった本格的なものだと感じた。早速、電子管回路だけのバラックセットを作り、テストのON/OFF時間比を採り、コントロールフォースファクター(図9)を作る。それには下記の計算式によりカーブが立っているほど感度は高いといえる。ここで改めて、この回路を簡単に説明する。

炉内に入れた白金線抵抗体を一辺にした交流ブリッジ回路を、ある温度において設定器でバランスさせておき、温度に変動が生じた時に偏差と変動方向を検出する、それを増幅し位相弁別の制御管でコンデンサの充電/放電タイミングを温度偏差出力でコントロールしてON/OFF時間比とし、加熱電流はHIGH/LOW時間比の比例制御をすることになる。

増幅段のマジックアイ(同調指示管)は、ブリッジの平衡状態を表示するものである。

