

生物・環境タイムカプセル用超長期自記記録装置の開発

岡田 東 一^{*1}・鈴木 健太郎^{*2}・柴田 俊 一^{*3}
萩原 武士^{*4}・兼田 利 勝^{*5}

Development of Ultra-long Self-recording System for Biological and Environmental Specimens Time Capsule

Toichi Okada, Kentaro Suzuki, Toshikazu Shibata
Takeshi Hagihara and Toshikazu Kaneda

The time capsule [Biological and Environmental Specimens Time Capsule] aims at the storage of biological and environmental data on contemporary earth until 1000 year future from now on. In order to make the samples kept in the capsule for ultra-long time useful in judging that of biological and environmental degradation of the earth comparing the data with 1000 year time difference, two conditions for the biological contents in the capsule are necessary they are :① oxygen free and ② temperature below -60°C , which should strictly be fulfilled for 1,000 years. The ultra-long-term recorder has been developed which is energized by the stored energy of the materials. The time span [t] is regulated by the torsion creep behavior of pure copper. The pressure [P] in the capsule is to be monitored by a pen cylinder type pressure gauge, and temperature [T] by bimetal. All these three essential key values: P, T, in the capsule and time are to be recorded on the clean surface of metal plate with the scratch of the needles, which follows on each sensor. The extrapolation of the torsion creep data gives approximately 8 rotations on time scale shaft, which leads us to the 40mm transverse motion of scratch needles during 1000 year [3×10^{10} sec] lapse of time.

Key Words: Torsion creep, Ultra-long self-recording system, Biological system, Cryogenic storage,

1. 緒言

西暦2000年初頭の現在における地球環境データと生物学的なデータを1000年間そのままの姿で残すための生体細胞・種子・大気・土壌などを冷凍保存した『環境・生物タイムカプセル』[Biological and Environmental Specimens Capsules Time Capsule]の計画が進められている¹⁾。1000年後に試料を取り出しデータ解析を行う際、カプセル従って内在する試料の経験した各種の環境すなわち、時間経過並びにタイムカプセル内の温度・圧力の記録が残っていることは1000年後の科学者にとって環境問題を分析する上で貴重なデータとなる¹⁾。1000年間にこれらカプセル内の温度、圧力並びにカプセルの貯蔵時間を測定し記録する方法として金属板上

*1 機械工学科 *2 機械工学専攻大学院生 *3 近畿大学原子力研究所 (〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

*4 大阪教育大学物理学科 (〒582-8582 柏原市旭ヶ丘4-698-1)

*5 (株)兼田製作所 (〒547-0002 大阪市平野区加美東2丁目7号30番地)

に針で引っかかり傷として残す方法をとることにしている。カプセルを埋める場所については種々検討された結果、年間ほぼ -60°C に保たれている場所として南極の氷の中が有力候補になっている。1000年の間に生物学的試料が、遺伝子レベルからみて変化の起こらない冷凍保存の条件として1. 無酸素環境, 2. 低温環境 (-80°C 以下)を保持することが強く望まれている¹⁾。そこで、本研究では上記をモニターするために、このカプセル内に設置することになっている超長期自記記録装置の完成へ向けた研究を行ってきた¹⁾³⁾⁵⁾⁶⁾。この装置の設計条件として①ねじりクリープ試験(時間基準)では定常クリープの確認のためクリープ時間を長くする。②ねじりクリープ試験機をマルチスペシメントタイプにし測定精度と測定効率を良くする。③温度軸(バイメタル)・圧力軸(ペンシリンダー)の作動確認を行う。

本論文では、超長期自記記録装置の設計・製作・テストまでの開発結果について報告する。

2. スクラッチ型超長期自記記録装置の基本設計

2-1 装置全体の基本設計

図1は本装置の完成にいたる問題点を整理したフローチャートである。特徴的な点を以下にまとめる。

① 超長期自記記録装置

の時間経過の基準をクリープ挙動により求めこれを自動で記録すること。

② カプセル埋蔵の時間、カプセル内の温度、圧力3つの物理量を銅板上に針でスクラッチし記録すること。

③ 記録装置の動力源としては材料に蓄えられた歪みエネルギー(パネ)を利用すること。

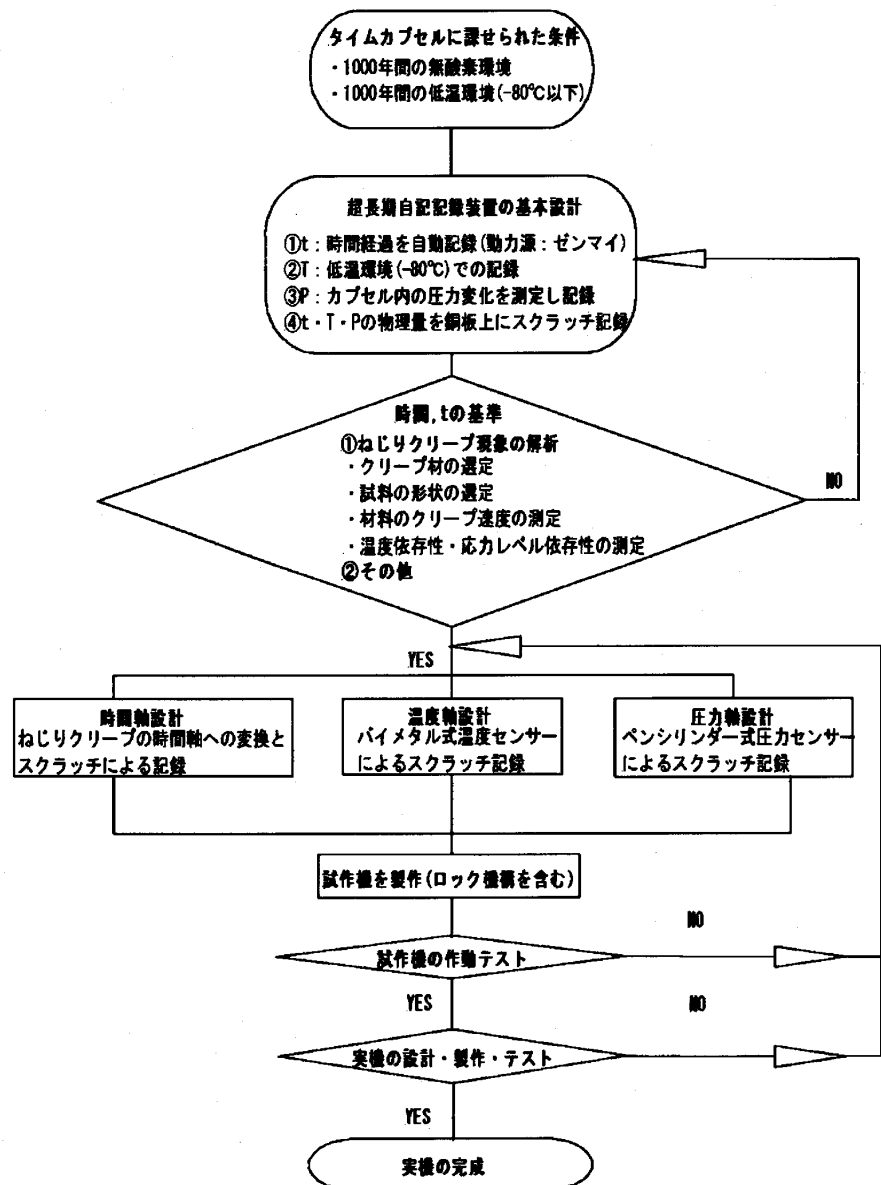


図1 装置の完成にいたるまでの問題点を整理したフローチャート

2-2 各パートの設計条件及び記録方法

t-時間軸: 超長期自記記録装置の動力源はバネに蓄えられた歪みエネルギーを利用し材料のクリープ速度 $\dot{\theta}$ を利用する。クリープ試験方法にも曲げ, 圧縮, 引張り, ねじりとあるが超長期自記記録装置の動力源(ゼンマイ)の歪みエネルギーを時間軸スケールに変換する場合, 曲げ, 圧縮, 引張りには長時間のクリープ現象を結びつけにくい。そこで純銅(JIS C-1220)の丸棒にトルクを与えるねじりクリープを試みることにした。ねじりのせん断応力 τ は試料の表面で最大となり, 直径 d の線材料にトルク T をかけた時の試料表面の最大せん断応力 τ は, $\tau = 16T / \pi d^3$ で与えられる。降伏応力 τ_y は実験データより, 弾性領域-塑性領域との交点より求めた⁴⁾。図2は本実験で使用した試料の仕様を示している。

図3はねじりによるクリープ試験機である。昨年まで使用していた試験機よりも今年度の試験機では,

①装置内部のねじり稼動部にボールベアリングを設置することにより摩擦を減少させる事ができた。

②試料に対して左右同等の荷重を与えることにより

偶力を発生させる事が出来た。③6本の試料を同時に設置して実験が行えるマルチスペシメンタイプに改良した。これら3つの改良を行った結果, 低トルク領域における測定感度の上昇, クリープ試験の信頼性を高める事ができた。そして, 装置の試料保持部に恒温槽を取り付けクリープ速度の温度依存性のデータをとることが出来る。

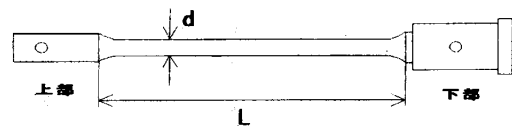
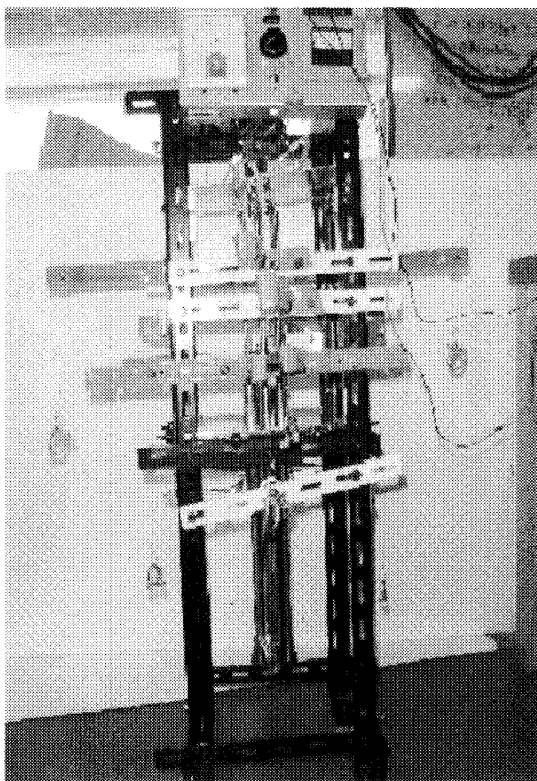


図2 試料の形状

d: 試料の直径(mm) $d=2\text{mm}$

L: 試料の長さ(mm) $L=200\text{mm}$



回転角 - 電圧変化変換装置

ポテンシオメータ

ボールベアリング

断熱材

隔壁

寒剤

試料

恒温槽

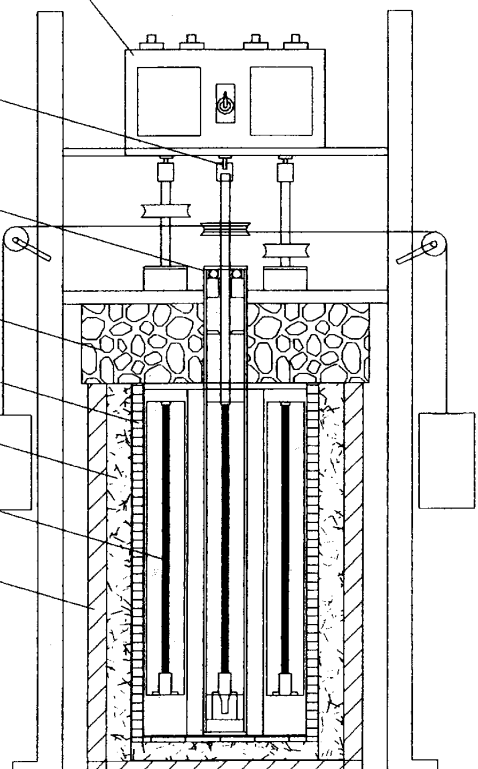


図3 温度可変ねじりクリープ試験機

3.実験

3-1ねじりクリープ試験

図4はねじれ角 θ を時間経過に対してプロットしたねじりクリープの荷重依存性の一例を示している。 $[\tau/\tau_y=0.3\sim0.9, T=353K]$, 実験では353K, 298K, 273K, 233Kの4つの温度をカバーする温度領域で測定を行った. 図5は直径2mmのCu(C-1220)試料について定常クリープ速度 $\dot{\theta}$ の温度依存性を $[1/T]$ で示している.

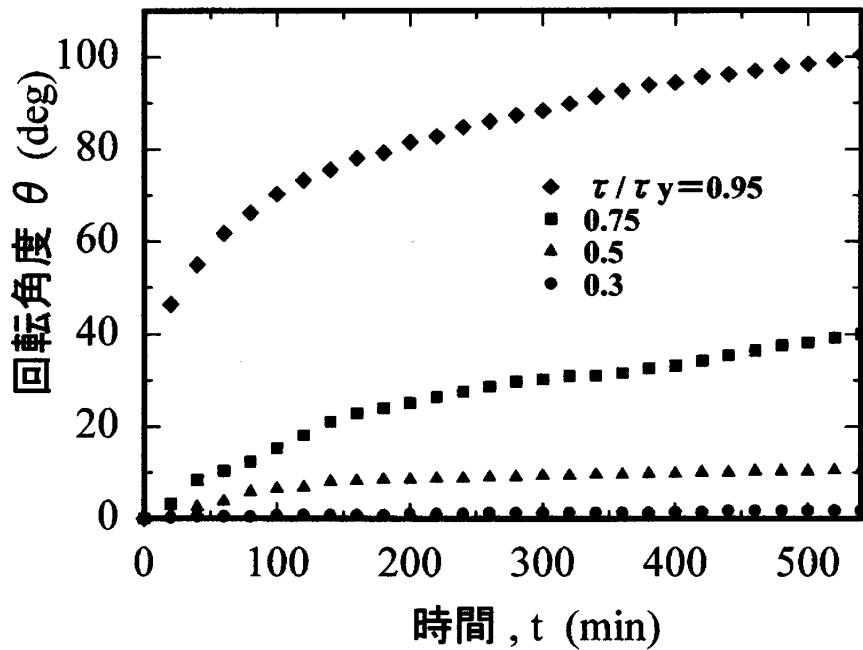


図4 ねじりクリープの荷重依存性 (Cu:C-1220)

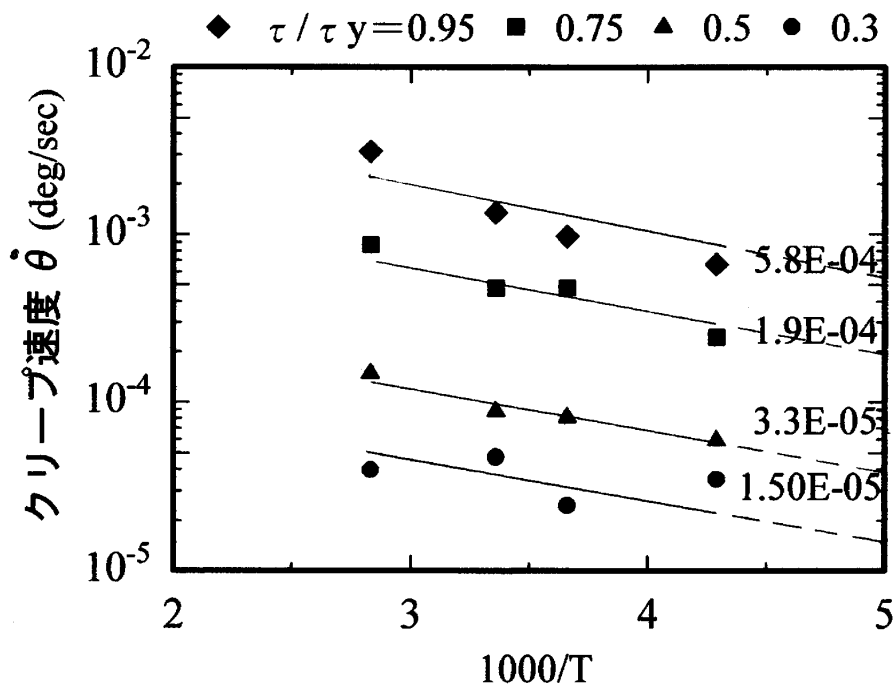


図5 ねじりクリープ速度の温度依存性 (Cu:C-1220)

図 5 よりこの範囲において $\dot{\theta}$ がアレニウスの式に乗るものと仮定して次式を用いて活性化エネルギー $U[\text{eV}]$ を求めた。

$$k = A \cdot \exp(-U(\tau)/kT) \cdots \cdots [1]$$

但し $\dot{\theta} [\text{deg/sec}]$: クリープ速度, $A [\text{deg/sec}]$: 頻度因子, $k [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$: ボルツマン常数, $T [\text{K}]$: 温度
[1] の対数を取り

$$\ln_e \dot{\theta} = \ln_e A - U(\tau)/kT$$

となり, 具体的数値として T_1 の時 $\dot{\theta}_1$, T_2 の時 $\dot{\theta}_2$ の値を代入し

$$\ln_e \dot{\theta}_1 = B - U(\tau)/kT_1 \cdots \cdots [2]$$

$$\ln_e \dot{\theta}_2 = B - U(\tau)/kT_2 \cdots \cdots [3]$$

[2], [3] 式より $U(\tau)$, A をそれぞれ導きだした。その結果を図 6 に示す。

今回の実験で測定された活性化エネルギー $U(\text{ev})$ の値と Cu における活性化エネルギーとのデータ比較する 2)。

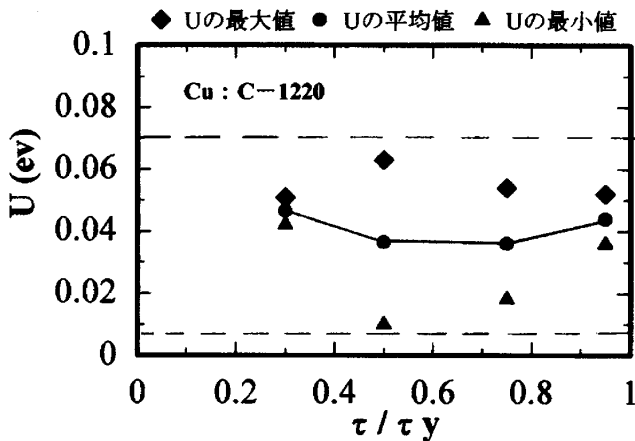


図 6 Cu のねじりクリープにおける活性化エネルギー U の応力パラメータ (τ/τ_y) 依存性

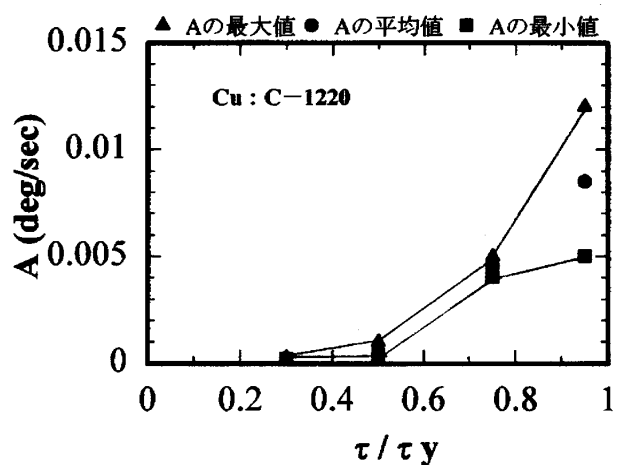


図 7 Cu のねじりクリープにおける頻度因子 A の応力パラメータ (τ/τ_y) 依存性

表 1 Cu の低温クリープの文献値 2)

Matrl.	Temp. (K)	Time(hrs)	$U(\text{ev})$	参考文献
Cu	20~300	10	-	I.A. Gindin, N.K. Nechvolod, and Ya.D. Starodubov.
Cu	77~400	-	0.174	P.R. Landon, J.L. Lytton, L.A. Shepard, and J.E. Dorn.
Cu	77~473	9	0.01~0.13	A.A. Aly, G.N. Podus, and A.F. Sirenko.
Cu	90,170	0.2	0.04~0.07	H. Conrad.
Cu	233	9	0.04~0.05	Present Study

今回測定された活性化エネルギーは $\tau/\tau_y = 0.3$ では $0.04 \sim 0.05(\text{ev})$ となり上記の文献値と比べて近い値となっている。

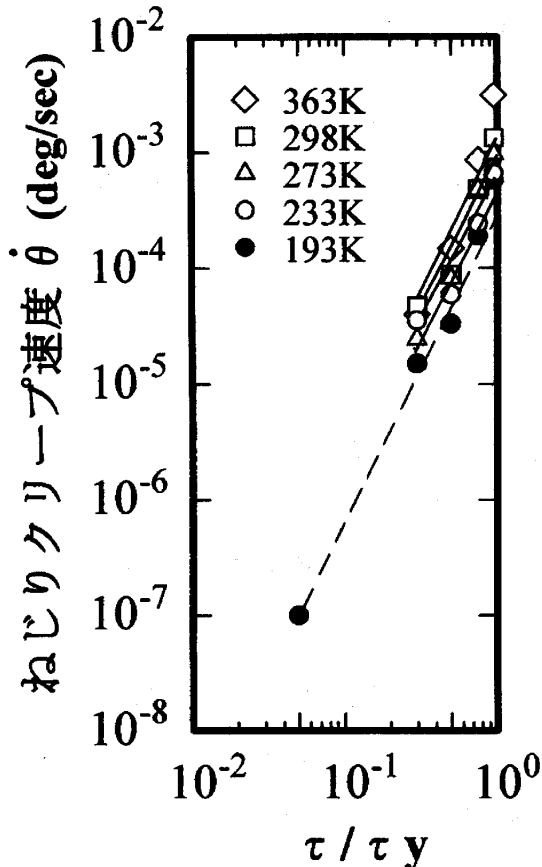


図8 ねじりクリープ速度の応力レベル依存性(Cu : C-1220)

図8は今回の実験で測定された定常クリープ速度の最小値は $T = -40^{\circ}\text{C}$ (233K) で $\tau / \tau_y = 0.3$ のとき $\dot{\theta} = 3.52 \times 10^{-5} (\text{deg/sec})$ であった。これを図8より外挿値として -80°C (193K) で $\tau / \tau_y = 0.05$ の時 $\dot{\theta} = 1 \times 10^{-7} (\text{deg/sec})$ となり1000年間の回転角は $3 \times 10^3 (\text{deg})$ 即ち、8.3回転と予想される。

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= 1 \times 10^{-7} (\text{deg/sec}) \\ \therefore \theta_{1000\text{yr}} &= 1 \times 10^{-7} (\text{deg/sec}) \times \\ &\quad 3 \times 10^{10} (\text{sec}/1000\text{year}) \\ &= 3000 (\text{deg}/1000\text{year}) \\ &= 3000 (\text{deg}/1000\text{year}) / 360 (\text{deg}/\text{回転}) \\ &= 8.3 (\text{回転}/1000\text{year}) \end{aligned}$$

以上のように Cu(C-1220)を用いたねじりクリープ挙動を活用して、超長期自記記録装置の時間軸を制御する機構として利用できる可能性が示された⁶⁾。

3-2 T-温度軸：装置内の温度測定には、図9のバイメタルを使用した。バイメタルは、熱膨張係数の比較的大きい合金板と比較的小さい合金板とを圧接し、張り合わせたもので温度変化に伴い湾曲する性質をもっている。このバイメタルを装置内のアームに取り付けアームがガイドにそって動くことにより下部の針で金属板をスクラッチすることにより記録出来る⁵⁾。しかしバイメタル先端の駆動力が金属板を引っかく時の最適荷重を求めなければならない。

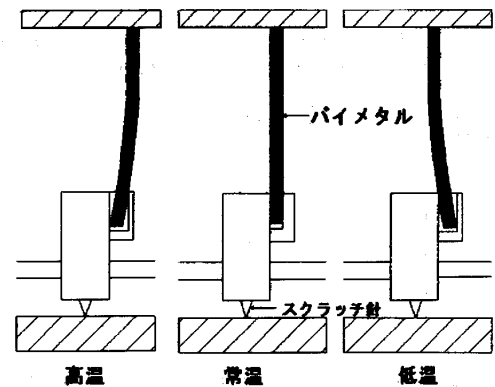


図9 バイメタル式温度センサー

3-3 P-圧力軸：装置内の圧力測定には図10のペンシリンダーを使用した。ペンシリンダーは圧力変化を受けるとペンシリンダー内のピストンロッドが左右に動きアームがガイドにそってスライドし、アームの下部に取り付けられた針が金属板に記録する⁵⁾。圧力軸も温度軸同様に針が金属板にひっかく最適荷重を求めなければならない。

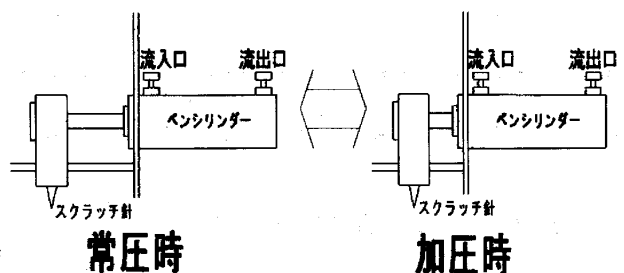


図10 ペンシリンダー式圧力センサー

3-4 超長期自記記録装置

時間軸・温度軸・圧力軸の銅板にスクラッチする記録方法を図 11 に示す. 超長期自記記録装置(試作機 NO. 2)は図 12 に, 装置全体の概念図は図 13 に示す.

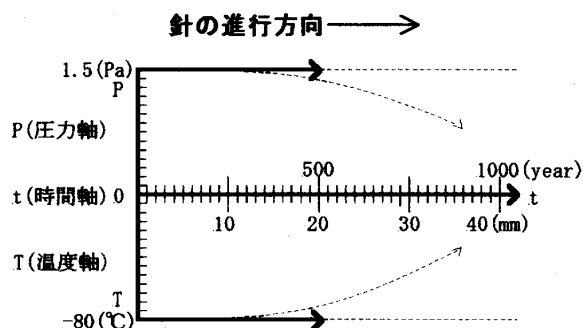


図 11 時間(t), 温度(T), 圧力(P)の変化のスクラッチ記録

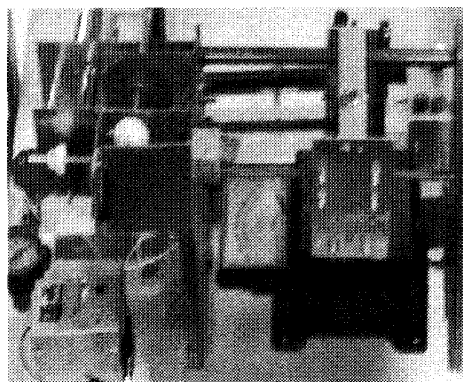


図 12 超長期自記記録装置(試作機 NO2)

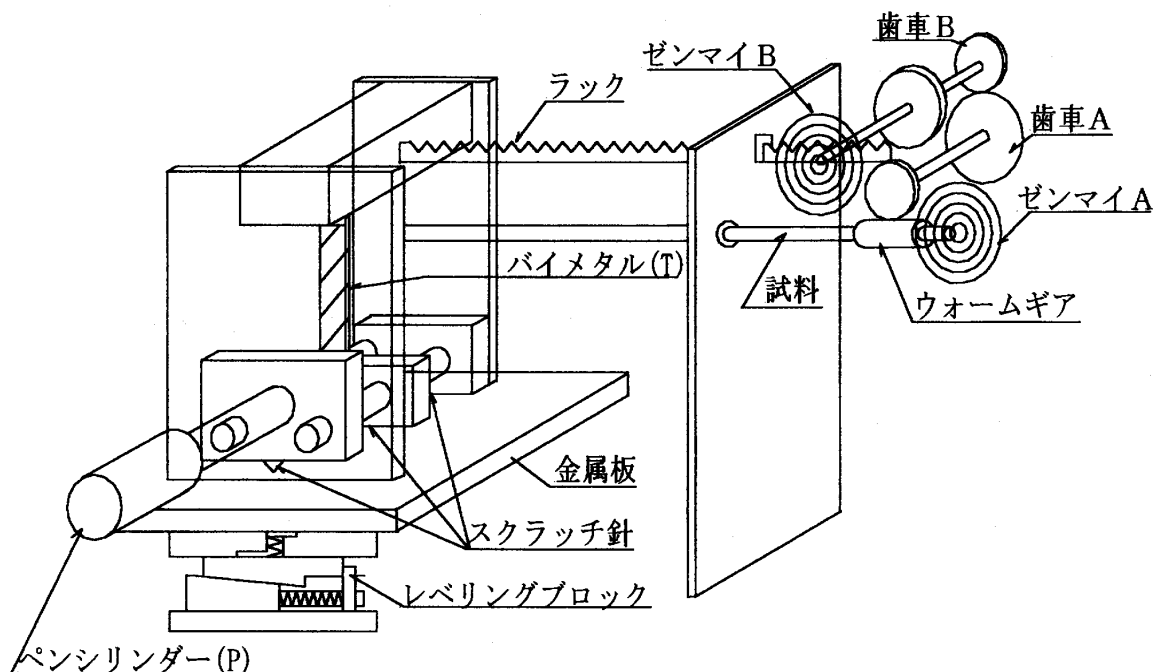
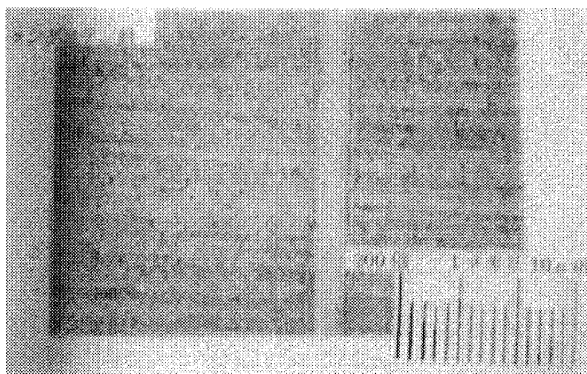
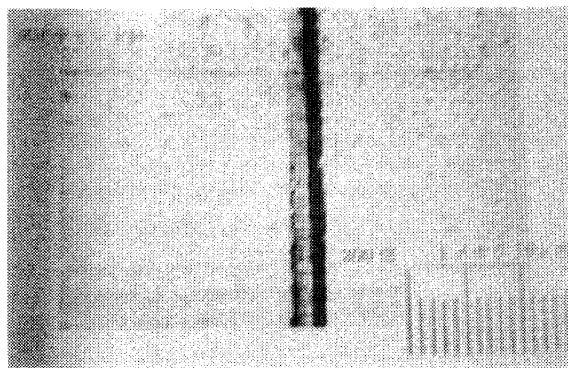


図 13 装置全体の概略図

図 14 に時間軸(t)・温度軸(T)・圧力軸(P)による銅板上にスクラッチした溝の写真を示す⁵⁾.



タングステン針による引っかき傷



ダイヤモンド針による引っかき傷

図 14 銅板のスクラッチ写真

4. 試作2号機の作動テストと問題点の検討

本実験研究において記録装置の設計・製作・テストに関してかなりの重要なデータが出揃った。しかし実機の製作までにはいくつかの検討すべき点がある。

1. 千年にわたる定常クリープ速度の確認…今回のねじりクリープ実験ではクリープの時間を増やし定常クリープ速度を求めることができたと思われる。しかし千年までの定常クリープ速度を外挿で求めるには更に長時間のクリープ試験データをとることにより時間軸の信頼性を向上させ得ると考えられる。
2. クリープ材の選定…今回の実験では Cu(C-1220)を使用したがこの他にも表面に酸化の影響を受けにくい金・銀などの材料も候補材と考えられる。
3. 記録装置の針の形状…スクラッチ記録の問題点として、長時間静止に近い状態で記録すると針が記録用金属板にクリープ現象でめり込みスクラッチできなくなる可能性があるので針の荷重と引っかかり力の最適化を検討する必要がある。
4. 超長期自記記録装置の時間軸、温度軸、圧力軸それぞれに設置してある針が銅板上に引っかく力として銅板にかかる荷重及び進行方向に引っ張る力を求めなくてはならない。

本研究を実施するにあたり平成13・14年度福井工業大学特別研究費のご支援をいただいた事を付記します。

参考文献

- 1) 研究代表者：江藤剛治, 人間(生物)・地球環境に関する超長期保存試料選定の基本概念に関する総合的, 平成7年度科学研究費成果報告書(1995)
- 2) J.K.Tien and C.T.Yen: CRYOGENIC CREEP OF METALS Adv.Cryo.Eng. Plenum Press Vol.30(1984) p.319~338
- 3) 岡田東一, 材料のねじりクリープ特性を活用した超長期自記記録装置の開発, 福井工業大学研究紀要第32号(2002)p.123~130
- 4) 小泉堯：基礎材料力学 株式会社養賢堂(1990)
- 5) 梅原章, 川口貴史, 野古弘樹, 高田論孝, クリープ特性を活用したスクラッチ型超長期自記記録装置の開発, 福井工業大学機械工学科平成13年度卒業研究,(2002)
- 6) 榎本純一, 川上正芳, 高野康彦, 材料のねじりクリープ変形の超長期挙動予測, 福井工業大学機械工学科平成13年度卒業研究,(2002)

【謝辞】

本研究を実施するにあたり顕微鏡撮影でご指導いただいた澁谷敦義教授に感謝いたします。

本研究に卒業研究として参加していただいた福井工業大学機械工学科4回生<平成10年度>松田将史, 村中隆浩, 中川毅, 中村聡宏, 佐々木真博, 嶋野了徳, 向川英伸, <平成11年度>亀田和茂, 高橋弘, 三谷祐二, 森隆司, 法桑大騎, 竹内健祐, 村山浩朗, 田邊康行, <平成12年度>深見尚, 源亮二, 海崎裕輝, 後藤智也, 富田智哉, 泉裕之, 三田村卓, <平成13年度>梅原章, 川口貴史, 野古弘樹, 高田論孝, 榎本純一, 川上正芳, 高野康彦, 以上30名の諸氏の努力に感謝します。

(平成14年12月5日受理)