

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

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 [Thousand year clock] Utilizing Torsional Creep

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

The time capsule BEST-2001 [Biological and Environmental Specimens Time Capsule] aims at the storage of biological and environmental data on contemporary earth. After 1,000 years from now on the samples kept in the capsule would certainly be useful in judging those of biological and environmental degradation of the earth comparing the data of 2001. In order to make the comparison of the data meaningful environmental history of the capsule should be precisely recorded. 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 torsional creep behavior of the materials (Cu). The pressure [P] in the capsule is measured by a pen cylinder type pressure gauge, and temperature [T] by bimetal. All these three essential key values: t, P, T, in the capsule are recorded on the clean surface of metal plate with scratch of the needles which follow after each sensor.

Key Words : Torsional creep properties, Time capsule, Ultra-long self-recording system, Bimetal, Scratch system.

1. 緒言

西暦 2001 年の現在における地球環境データと遺伝子レベルから生物学的なデータをそのままの姿で残すための細胞種子などを冷凍保存した『環境・生物タイムカプセル』**BEST=2001**[Biological and Environmental Specimens Time Capsule]の計画が進められている。1000 年後このタイムカプセル内の試料から有用な知見を取り出すためには、1000 年間にカプセル及び内在する試料の経験した各種の環境すなわち、時間経過、タイムカプセル内の温度、圧力の記録が残っていることが望ましい。生物学的試料の冷凍保存のためには、カプセルの設計条件として①1000 年間のカプセル内無酸素環境。②1000 年間の低温環境(生物学者はこの温度を-80℃以下と規定している)が課せられている。そこで、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設計条件として、③時間、温度、圧力の自記記録を 1000 年間作動させる動力源を確保する。④三種のデータの記録即ち時間経過、温度、圧力の変化を

* 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)

金属板上にスクラッチとして残す2点がある。(1)、(3)

記録装置を1000年間駆動するための動力源としてはいくつか考えられたが、最終的にここでは、材料に貯えられたひずみエネルギー(バネ)を利用することになった。

本節では、昨年までの開発経過及び、今年の改良点について述べる。昨年は、感度の良い試験法の一つとして3点曲げ試験法を採用し実験を進めてきた。(1)しかし、曲げクリープ試験では、曲げ材料の一部しか変形しなし、たわみクリープの様な変形が続くストロークの限界が狭い、などの問題がある。また定常クリープ変形速度を時間軸スケールに変換するための機械的機構の実現が難しいなどの問題がある。そこで本年度は、純銅(JIS C-1220)の丸棒にトルクを与えるねじりクリープ試験を試みることにした。変形様式の利点としては、表面からの加工硬化の影響もあって、定常クリープが長期にわたり維持できる可能性があることである。さらに、実験上サンプルの直径を変化させることにより試料の温度ならびにトルクの条件を変えることが容易である。最終的に装置として組み立てる際クリープ変形挙動を超長期にわたり機械量に結びつける機構を実現しやすい、などに要約出来る。そこで、まず、適切な材料のクリープ変形、特にクリープ速度の温度依存性、応力レベル依存性を測定し、クリープ変形の法則性を見出しその結果から定常クリープ速度を求め1000年後のクリープ速度を外挿的に把握することが出来た。実験結果から得られたクリープ速度 $\dot{\theta}$ の温度依存性がアレニウスの式で速度論で表現出来たので、応力レベル依存性のデータから応力レベルを下げた場合の長期にわたるクリープ速度 $\dot{\theta}$ を予測できた。よって、超長期自記記録装置の時間スケールの基本回転軸を1000年にわたり必要な回転数に収め得る最適応力レベルを得ることの可能性を示すことが出来た。

(4)

本文では、従来のデータをもとに実験までに到る試作機の開発状況について報告する。

2. クラッチ型超長期記録装置基本設計

2-1 装置全体の基本設計

図1は本装置設計のための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長期にわたり時間、温度、圧力を記録すること。
- ②超長期にわたり作動すると期待される動力源としてバネに蓄えられた歪みエネルギーを利用すること。
- ③この装置はタイムカプセル内で作動すると共にタイムカプセルは-80℃で作動すること。
- ④超長期にわたり永続する記録方法として金属板にスクラッチすること。

2-2 各パートの設計条件

- ⑤t-時間軸:制御されたクリープ材料の変形量を機械的に時間軸に変形すること(スクラッチ機構の付加)
- ⑥T-温度軸:-80℃~+80℃までの温度範囲にわたって金属板にスクラッチする駆動力を持たせること。

- ⑦P-圧力軸：カプセル内の圧力変化を 1 気圧から 2 気圧までの範囲にわたって金属板にスクラッチする駆動力を持たせること。
- ⑧スクラッチ針と記録用金属板との接触機構(ロック機構を含む)を確実なものにすること。

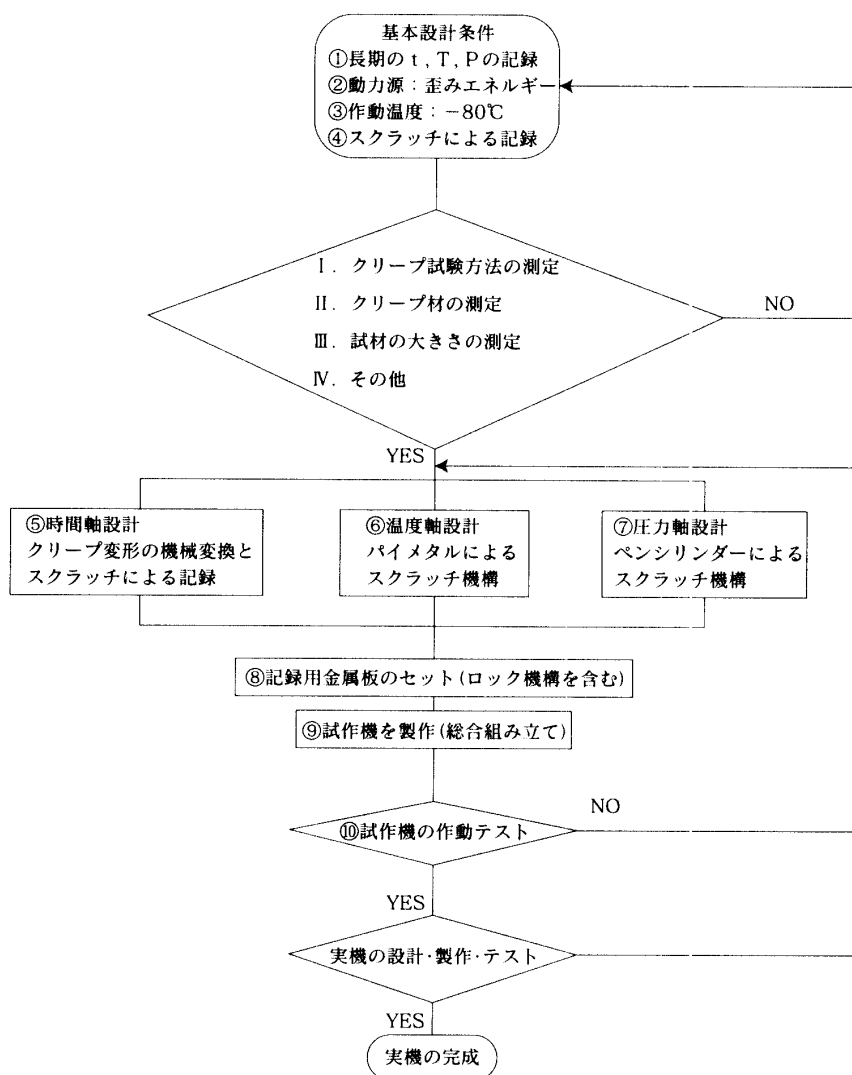


図 1 装置の設計・製作におけるフローチャート

3. 実験

3-1 ねじりクリープ試験

図 2 は本実験で使用した試料、純銅(JIS C-1220)の仕様を示している。図 3 は本研究で使
用したねじりによるクリープ試験機[兼田製作所 VECT-1A 型]である。この装置の試料保持部分
に恒温槽を取り付けてクリープ速度の温度依存性のデータをとる事ができる。

ねじりのせん断応力は試料の表面で最大となり、直径 d の線材試料にトルク T をかけた時の
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。(2)、(4)

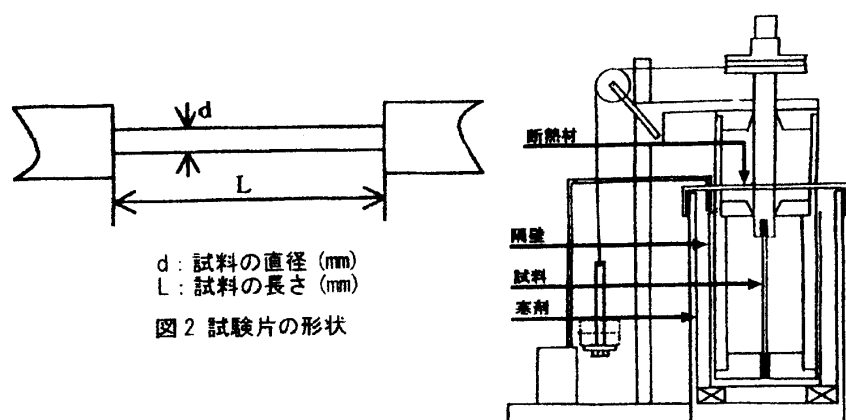


図3 温度可変ねじりクリープ試験機 (VECT-1A)

図4はねじれ角 θ を経過時間に対してプロットした短時間ねじりクリープ試験の結果の一例を示している[$\tau/\tau_y=0.25\sim0.95$ 、 $T=233\text{K}$]、本実験では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。

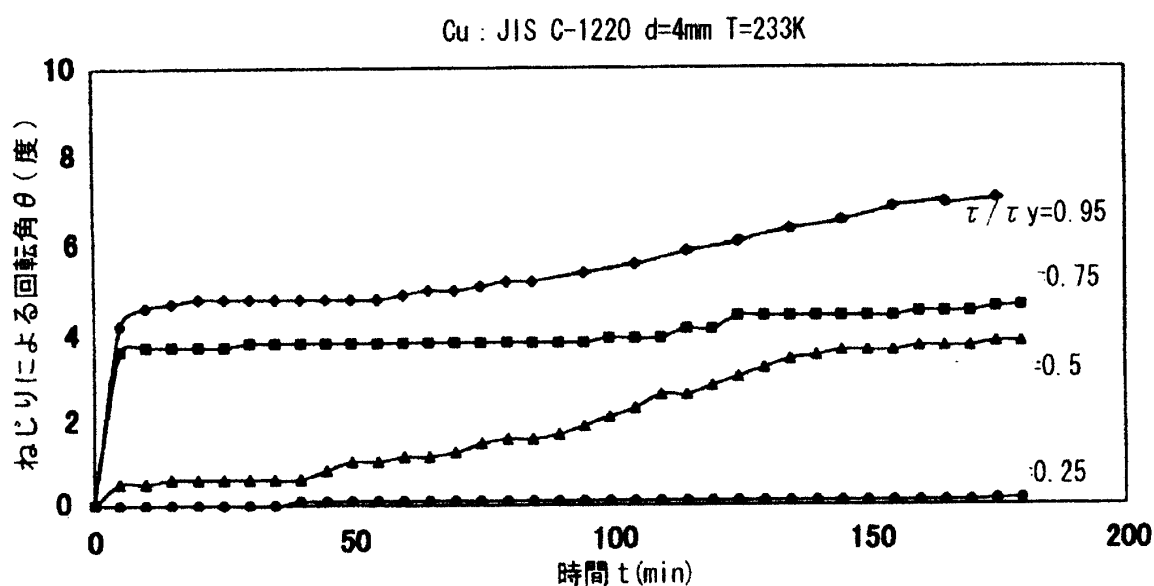


図4 ねじりクリープの荷重依存性

図5は純銅(JIS 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。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 [eV]を求めた。

$$K=A \cdot \exp(-U/kT) \cdots \cdots [1] \quad \text{但し } \dot{\theta} [\text{度/sec}] : \text{クリープ速度、} A [\text{度/sec}] : \text{頻度因子}$$

$$k [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}] : \text{ボルツマン常数、} T [\text{K}] : \text{温度}$$

[1]の対数を取り(e を底にして)

$$\ln_e \dot{\theta} = \ln_e A - U/kT \quad \text{となり、具体的数値として } T_1 \text{の時 } \dot{\theta}_1、T_2 \text{の時 } \dot{\theta}_2 \text{の値を代入し}$$

$$\ln_e \dot{\theta}_1 = B - U/kT_1 \cdots \cdots [2] \quad \ln_e \dot{\theta}_2 = B - U/kT_2 \cdots \cdots [3]$$

[2]、[3]式より U 、 A を決定出来る。

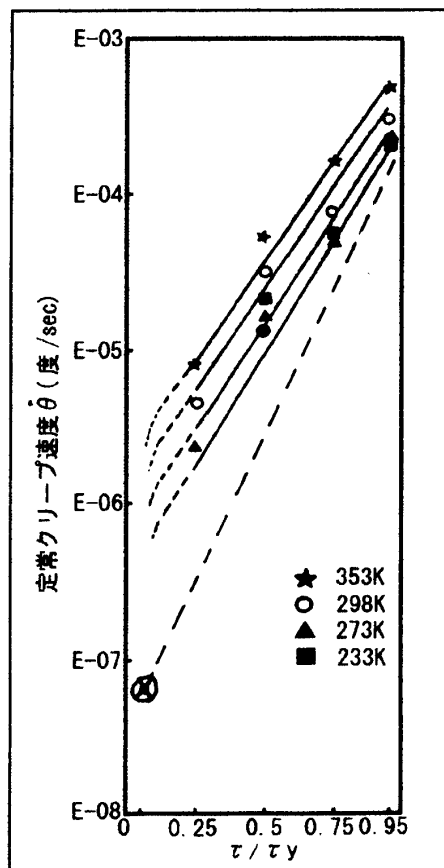
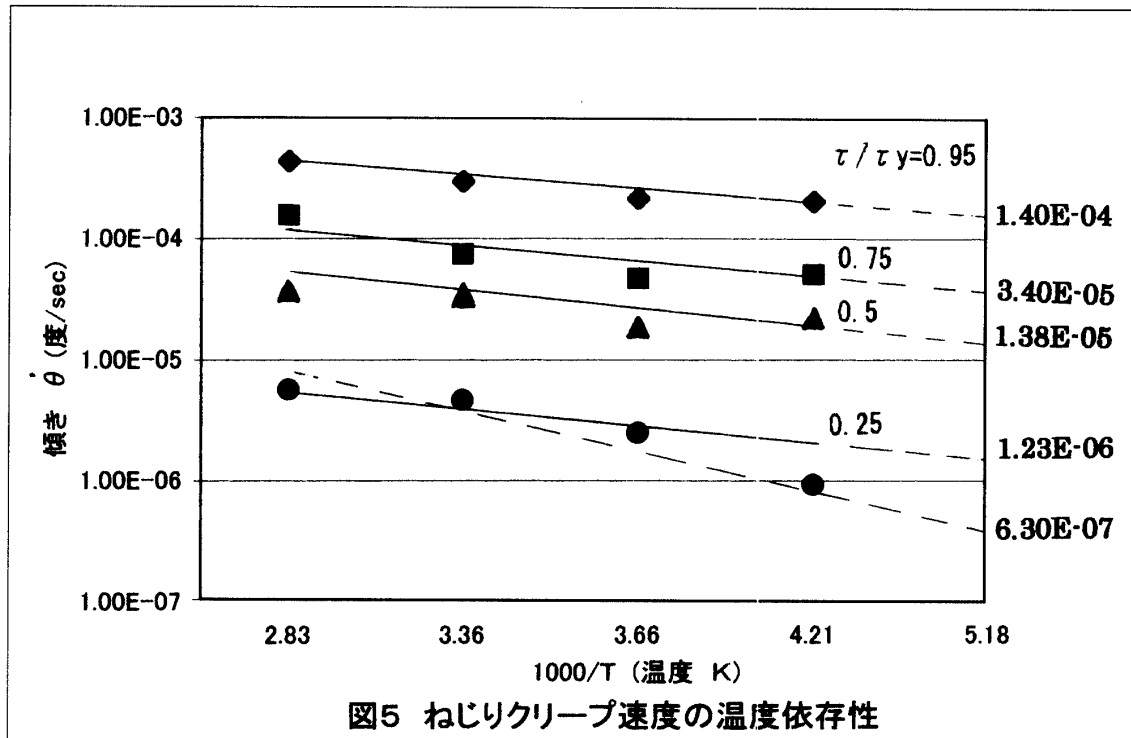


図6は今回の実験で測定された定常クリープ速度の応力レベル依存性をプロットしたものである。

図より外挿値として -80°C (198K)で $\tau/\tau_y=0.1$ のとき $\dot{\theta}=8\times 10^{-8}$ (度/sec)となり 1000 年間の回転角は 2.4×10^3 (度)即ち、6.67 回転と予想される。

$$\begin{aligned}\dot{\theta} &= 8 \times 10^{-10} \text{ (度/sec)} \\ \therefore \theta_{1000\text{yr}} &= 8 \times 10^{-8} \text{ (度/sec)} \times 3 \times 10^{10} \text{ (sec/1000yr)} \\ &= 2400 \text{ 度} \\ &= 2400 \text{ (度/[360 度/回転])} \\ &= 6.67 \text{ 回転}\end{aligned}$$

以上のように純銅を用いたねじりクリープ挙動を活用して、超長期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。(4)

3-2 圧力の検出－記録試験

① T-温度軸の設計

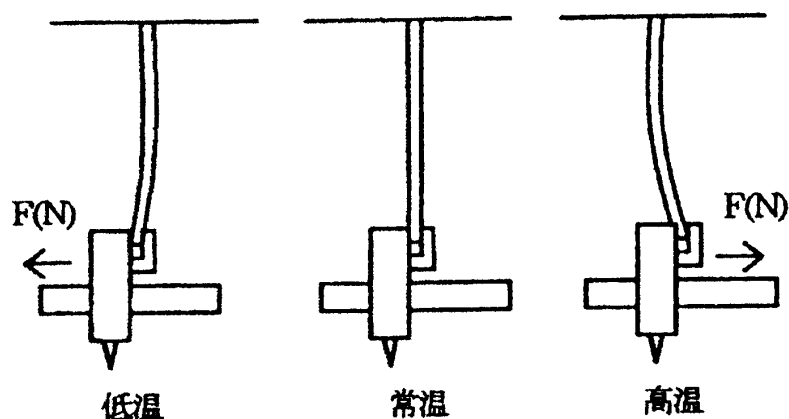


図7 バイメタルによるスクラッチ機構

-80℃～+80℃の温度変化をバイメタルに与えることによって、アームに取り付けられているバイメタルがわん曲して、アームがガイドにそって左右にスライドし、アームの下部に取り付けられた針が金属板にスクラッチすることで記録出来る。

バイメタルの駆動力は理論上低温側で 4.7[N]、高温側 2.97[N]と見積もられる。(3)

②P-圧力軸の設計(ペンシリンダー)

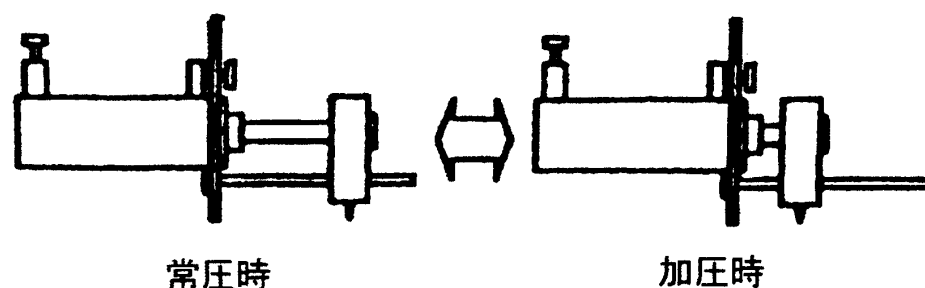


図8 ペンシリンダーによるスクラッチ機構

ペンシリンダーに圧力変化を与えることによって、ペンシリンダー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スクラッチする。(3)

3-3 記録方法：スクラッチ式記録に対する検討

本実験で使用したスクラッチ用の針は[A]タングステン針、[B]ダイヤモンド四角錐、の2種である。前者は直径 4mm、先端のコーン曲率半径が $7\mu\text{m}$ のものであり、後者はマイクロビッカース硬度計用のものである。図9に時間軸、温度軸、圧力軸、による銅板上にスクラッチした溝の写真を示す。(3)

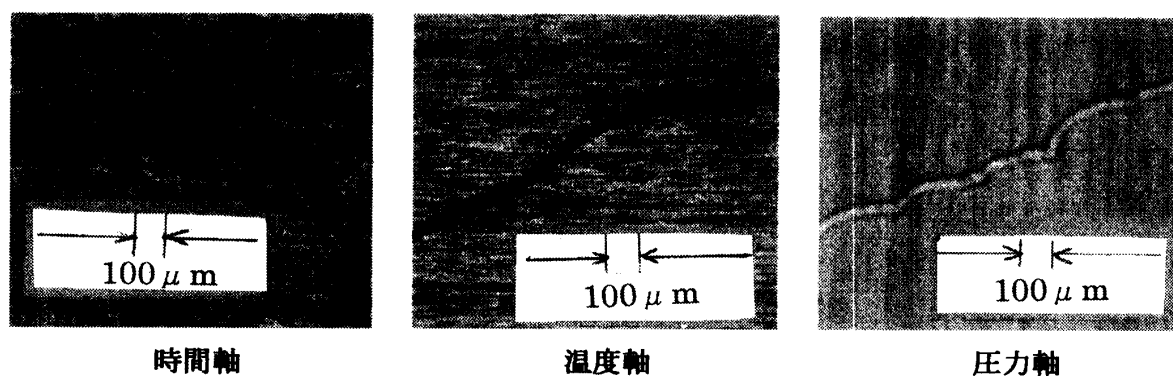


図 9 銅板のスクラッチ写真

3-4 針圧調節機構

図 10 に示すようにロック機構を外し、金属板を貼り付けたバネ内臓の計量器をレベリングブロックにより矢印方向に押し上げることで荷重 F を作ることが出来る。(3)

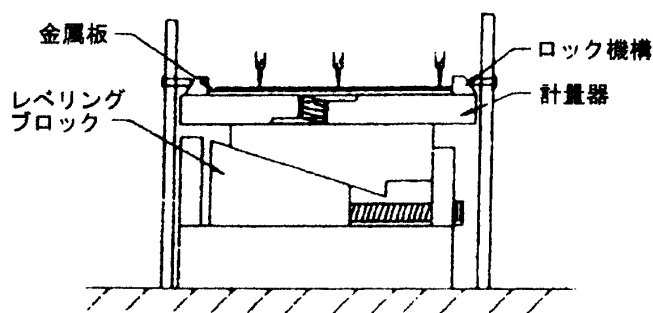


図 10 針と金属板との接触機構

4. 試作 2 号機の作動テストと問題点の検討

本研究で試作 2 号機を製作し、より近い環境でのテストを行う。図 11 は超長期自記記録装置の概念図である。(3)

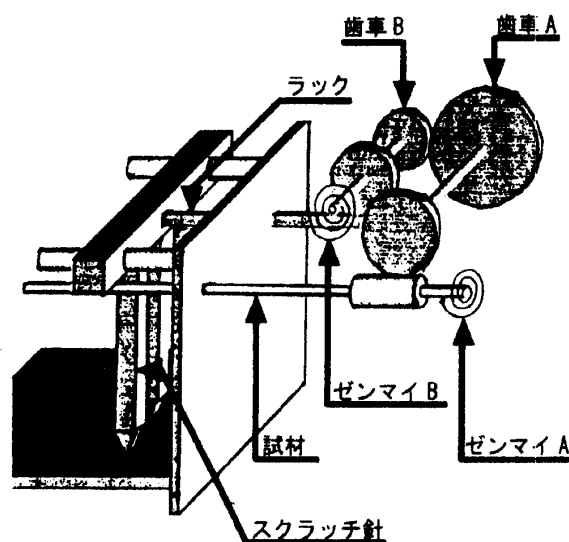


図 11 針を時間軸方向に動かすための歯車機構の概念図

本実験研究において記録装置の設計・製作に関しての必要なデータはある程度得られたが実験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…今回のクリープテストではクリープの時間が短く十分に定常クリープ状態に入っているかどうかの確認が十分ではない。
2. 今回の実験では、試験機に摩擦が多く応力レベルが高い時のデータは取れたが、低い時のデータがあまりよくないので、摩擦を小さくした試験機にする必要がある。
3. 1度に6個分のデータが取れる(マルチスペシメント)タイプの実験装置にすれば、測定効率が良くなると考えられる。
4. 温度軸…機構及びバイメタル(バイメタルの厚みを厚くする等)の更なる改良を行い、より正確な温度センサの設計、製作を検討する必要がある。
5. 圧力軸…圧力容器の温度の変動による気密性が十分であるかの確認。
6. 接触機構…3本の針を同時にスクラッチ出来たが、荷重測定装置にガイドを内臓することが困難なため他の方法を検討する必要がある。
7. 記録装置の設計・製作に関してのデータは必要十分に取ることが出来た。しかし、カプセル保存のための温度条件である-80℃をつくり、1000年間保ちつづける方法はこれからも検討の必要がある。

本研究を実施するにあたり平成11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いたします。

〔参考文献〕

- (1)研究代表者：岡田 東一、材料物性を活用した超長期自記記録装置[千年時計]の開発、福井工業大学研究紀要第31号(2001)p.165~172
- (2)小泉堯：基礎材料力学 株式会社養賢堂(1990)
- (3)深見尚、源亮二、海崎祐輝、後藤智也：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12年度卒業研究、(2000)
- (4)富田知哉、泉裕之、鈴木健太郎、三田村卓：超長期自記記録装置のためのねじりクリープ試験、福井工業大学機械工学科平成12年度卒業研究、(2000)

〔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蒔谷敦義教授に感謝いたします。また、ねじりクリープ試験機の改良に御協力いただいた兼田製作所の兼田利勝常務に厚く御礼申し上げます。

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回生の松田将史、村中隆浩、中川毅、中村聡宏、佐々木真博、嶋野了徳、向川英伸、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、深見尚、源亮二、海崎祐輝、後藤智也、富田知哉、泉裕之、鈴木健太郎、三田村卓の23名の諸氏に感謝します。

(平成13年12月5日受理)