

# 極低温領域における精密温度計測

菅原 敏博 \*

*Toshihiro Sugawara*

山崎 裕大 \*\*

*Yasuo Yamazaki*

超電導モータのコイル冷却用過冷却液体窒素の温度変化を計測する方法について検討し、開発機試験時に適用したところ良好な計測結果が得られた。本報ではその計測方法と実計測適用の概要を紹介する。

キーワード：高温超電導、超電動モータ、過冷却液体窒素、Pt100 測温抵抗体、ミリオーム計

## 1. はじめに

1986年に高温超電導が発見された後、安価で扱い易い液体窒素(77K)でも超伝導転移が可能となったことにより、これを応用した電力機器開発が盛んになった。2005年に8共同開発産学チーム<sup>\*1</sup>が開発した液体窒素冷却全超電導モータ<sup>1)</sup>は小型軽量、高効率の船用電気推進装置として注目されている。

超電導モータは固定部分の電機子コイルユニットを超電導転移させるため、同ユニットを格納するクライオスタット内に過冷却液体窒素を循環させている。過冷却液体窒素はクライオスタットへの侵入熱によりわずかに上昇する。この侵入熱量を把握するために微小な温度変化を正確に計測する方法が必要となる。筆者等はこの極低温領域

における温度変化をPt100測温抵抗体およびミリオーム計を使用した微小温度差計測方法を提案し実計測に適用した。

\*1 (株)IHI, 住友電気工業(株), 大陽日酸(株), ナカシマプロペラ(株), 新潟原動機(株), (株)日立製作所, 福井大学, 富士電機システムズ(株)

## 2. 既成温度計測方法による検討

クライオスタット内での液体窒素温度変化から発熱量を算出するためには少なくとも±1%以内の計測精度が要求される。熱電対を使用した一般のデジタル温度計の計測精度は、温度範囲23K~123Kの範囲においては表1の通りであり、必要な分解能0.01Kを満足せず、液体窒素温度変化による発熱量算出には適用できない。

\* 計測事業部 試験エンジニアリング部 部長

\*\* 計測事業部 試験エンジニアリング部

表1 デジタル温度計の測定精度  
(測定範囲23K~123K) (単位: K)

熱電対種類 温度計機種	K	T	J	E	Pt (測温抵抗体)
機種A	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1
機種B	±0.7	±1.7	±0.3	±1.0	±0.1

< E社製2機種 >

また熱電対の熱起電力を精密電圧計で計測する方法とした場合、表2に示すようにJISに定められた熱電対の中で最も高い起電力特性を有しているEタイプ熱電対の1Kでの起電力差は24  $\mu$  Vであるが、0.01Kの分解能を満足するためには0.24  $\mu$  Vを精度良く計測する電圧計が必要となる。しかし現在市販されている最も分解能の高いデジタルマルチメータでも1  $\mu$  Vが限界のようであり、これも適用は困難と考えられる。

表2 熱電対の熱起電力 (JIS C 1602-1995)

(単位:  $\mu$  V)

熱電対種類	66K	起電力差	67K	起電力差	68K
K	5994	14	5980	17	5963
T	5710	15	5695	15	5680
J	8037	20	8017	21	7996
E	8994	23	8971	24	8947
N	4057	9	4048	10	4038

### 3. 提案した計測方法

微小な温度変化を精度よく計測する場合、温度差によるセンサーの出力差が大きいことが望ましい。表3に示すように、Pt100測温抵抗体は温度差による抵抗変化が大きく、4 m  $\Omega$  / 0.01 K以上の出力が得られる。この抵抗変化をミリオー

表3 Pt100測温抵抗体の抵抗変化

(単位: m $\Omega$ )

	73K	抵抗値差	74K	抵抗値差	75K
規準抵抗値	18520	430 (4.3/0.01K)	18950	430 (4.3/0.01K)	19380

< JIS C 1604-1997 >

ム計(微小電気抵抗計測器)で高精度に計測し、温度換算する方法を提案した。

写真1にミリオーム計およびデータ収録用PCを示す。Pt100測温抵抗体の抵抗値はミリオーム計で計測され、データは専用計測ソフトウェアをインストールしたPCに収録される。表4にミリオーム計の計測精度を示す。4m  $\Omega$  / 0.01Kの分解能に対応する計測レンジを200  $\Omega$ とした場合では、計測分解能は1m  $\Omega$ で、読値に対する精度は±0.008%、フルスケールに対する精度は±0.0015%である。

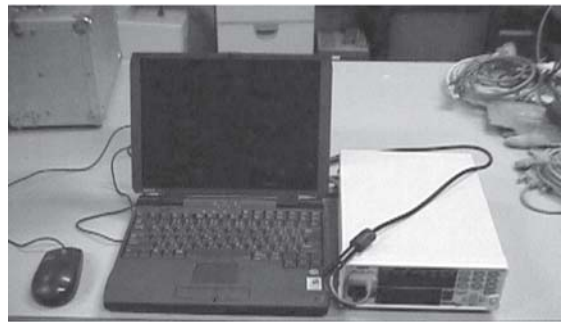


写真1 計測装置

表4 ミリオーム計の計測精度

±(ppm of 読値 + ppm of フルスケール)

レンジ	最大表示	分解能	サンプリング速度			
			SLOW2	SLOW1	MEDIUM	FAST
20 $\Omega$	20.000 $\Omega$	100 $\mu$ $\Omega$	100 + 40	100 + 60	100 + 100	100 + 150
200 $\Omega$	200.000 $\Omega$	1m $\Omega$	80 + 15	80 + 30	80 + 40	80 + 100

< H社製カタログより >

ただし、JISにおけるPt100測温抵抗体A級の73Kにおける許容差<sup>\*2</sup>は±0.55Kで、また規準抵抗値表<sup>2)</sup>には73Kまでの記載しかないので、73K以下の温度を計測するためにはPt100測温抵抗体の計測温度付近における器差の把握、補正係数を求めるなどして規準抵抗値表から外挿する必要がある。

\*2 Pt100測温抵抗体の示す抵抗値を規準抵

抗値表により換算して求めた温度から実際の温度を引いた値の許容される最大限度。

#### 4. 実計測への適用結果

写真2に超電導モータ開発機を示す。同モータのクライオスタット内部に設置されたそれぞれのPt100測温抵抗体の抵抗値の変化を温度換算した。表6に超電動モータクライオスタット内の温度計測結果の一例を示す。連続計測において微妙な温度経時変化を捉えることが出来た。

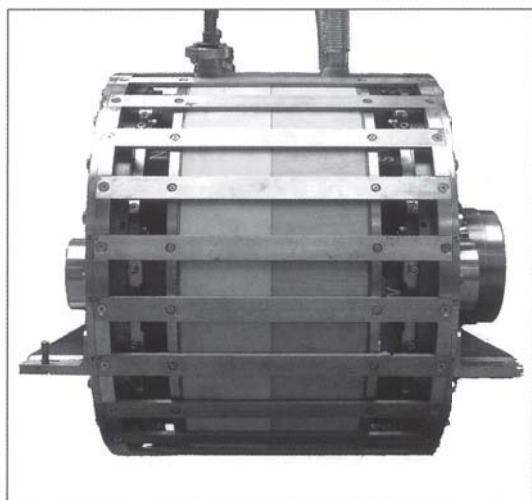


写真2. 超電導モータ開発機

表5 超電導モータクライオスタット内部冷却LN2計測結果の例

時間	Aポイント		Bポイント	
	℃	K	℃	K
0	-198.655	74.495	-199.944	73.206
10	-198.694	74.456	-199.955	73.195
20	-198.713	74.437	-199.957	73.193
30	-198.741	74.409	-199.963	73.187
40	-198.771	74.379	-199.957	73.193
50	-198.803	74.347	-199.955	73.195
60	-198.818	74.332	-199.948	73.206
70	-198.846	74.304	-199.944	73.206
80	-198.878	74.272	-199.942	73.208

#### 5. おわりに

本報で紹介した計測方法は液体窒素の過冷却領域における微小温度変化を捉えること目的として考案したもので、各計測点間の相対的な温度差の把握に重点を置いている。今後盛んになって行くと予想される超電導機器の開発気運に沿ったかたちで、極低温領域における計測技術のブレークスルーを図って行きたいと考える。

本稿の執筆にあたり、(株)IHI船用超電導推進事業関係各位にご協力を頂きました。ここに紙面を借りて感謝の意を表します。

#### 6. 参考文献

- 1) 竹田, 外川, 太田: 液体窒素冷却全超電導モータの開発, IHI 技報 Vol.45 No.4(2005-12)
- 2) JIS C 1604-1997



計測事業部  
試験エンジニアリング部  
部長  
菅原 敏博  
TEL. 045-759-2281  
FAX. 045-751-0357



計測事業部  
試験エンジニアリング部  
山崎 裕大  
TEL. 045-759-2281  
FAX. 045-751-0357