

ヒータ付熱電対型水位計の開発

Development of Heater-and-thermocouple-type Water Level Sensor

柴田 晃 三浦 邦明 武内 伴照 大塚 紀彰 中村 仁一 土谷 邦彦

Akira SHIBATA, Kuniaki MIURA, Tomoaki TAKEUCHI, Noriaki OHTSUKA Jinichi NAKAMURA and Kunihiko TSUCHIYA

大洗研究開発センター

照射試験炉センター

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center Oarai Research and Development Center

October 2013

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構



本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(http://www.jaea.go.jp) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課 7319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4 電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,

Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2013

ヒータ付熱電対型水位計の開発

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター 照射試験炉センター

柴田 晃、三浦 邦明*、武内 伴照、大塚 紀彰、中村 仁一、土谷 邦彦

(2013年4月25日 受理)

東京電力福島第一原子力発電所の事故においては、全電源喪失により、原子炉圧力容器内水位及び使用済燃料プールの水位が測定できなくなり、事故対策及び事故後の状況の把握に大きな困難をもたらした。このため、全電源喪失時にも、小電力で作動可能な信頼性の高い水位計の開発に着手した。開発にあたっては、既存の水位計を調査するとともに、小電力作動する信頼性の高い水位計の設計と製作を行い、その性能を調べた。その結果、熱電対とヒータを一本のシースに組み込む構造にすることにより、信頼性の高い水位計を製作することが可能であることを明らかにした。試作した水位計を用いた性能評価試験の結果、水温が常温から95℃の温度範囲において、±20mmの精度で水位を測定できることを明らかにした。また、電源として直流電源、交流電源どちらも使用可能であることを示した。

本開発により、新型水位計を使用済燃料プールや過酷事象時の原子炉圧力容器の水 位計として使用する見通しを得た。

大洗研究開発センター:〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

^{*}助川電気工業株式会社

Development of Heater-and-thermocouple-type Water Level Sensor

Akira SHIBATA, Kuniaki MIURA*, Tomoaki TAKEUCHI, Noriaki OHTSUKA,

Jinichi NAKAMURA and Kunihiko TSUCHIYA

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center

Oarai Research and Development Center

Japan Atomic Energy Agency

Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received, April 25, 2013)

In the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant Accident, the measurements of water level in pressure vessel and spent fuel pool was impossible due to station blackout, and it resulted in

difficulty for countermeasures against the accidents and for understanding of the situations of

reactor core after accidents. Therefore, we started to develop a new water level sensor for spent

fuel pool with high reliability, which works with low power voltage.

This report describes reviews of conventional water level sensor and design and production of

new water level sensor. After production of the sensor, performance tests were performed at the

water temperature between room temperature and 95°C, and the it was confirmed that the sensor is

able to measure water level with the accuracy of ± 20 mm. As the results, a perspective to use the

new water level sensor as water level gauge for spent fuel pool and reactor vessels after severe

accident is acquired.

Keywords: Water Level Sensor, Spent Fuel Pool, LWR

*SUKEGAWA ELECTRIC CO., LTD.

ii

JAEA-Technology 2013-024

目 次

1.	緒言	1
2.	従来型の水位計の調査	1
	2.1 差圧式水位計	1
	2.2 浮子式水位計	2
	2.3 BICOTH 型水位計	2
	2.4 TRICOTH 型水位計	3
3.	ヒータ付熱電対型水位計の試作及び性能評価試験方法	4
	3.1 試作試験	4
	3.2 性能評価試験	5
4.	結果及び考察	7
	4.1 試作結果	7
	4.2 水位計(MI ケーブル長さ 1m)の試験結果	8
	4.3 水位計(MI ケーブル長さ 100m)の試験結果	8
	4.4 異なる電源による性能評価	8
	4.5 熱電対型水位計の性能比較	9
5	結論	. 18
謝	辞	. 19
参	考文献	. 19
付	録	. 20

JAEA-Technology 2013-024

Contents

1. Introduction	1
2. Former water level sensor	1
2.1 Differential pressure type water level indicator	1
2.2 Float type water level indicator	2
2.3 BICOTH-type water level indicator	2
2.4 TRICOTH-type water level indicator	3
3. Manufacture and characteristic tests of heater-and-thermocouple type v	vater level
indicator	4
3.1 Manufacture tests	4
3.2 Performance evaluation tests	5
4. Results and discussion	7
4.1 Results of manufacture	7
4.2 Results of performance evaluation tests (1m MI cable)	8
4.3 Results of performance evaluation tests (100m MI cable)	8
4.4 Peformance evaluation of different electric power source	8
4.5 Comparison of the new water indicator, BICOTH type water level inc	dicator and
TRICOTH type water level indicator	9
5 Conclusion	18
Acknowledgements	19
Refferences	19
Appendix	20

1. 緒言

発電用軽水炉では、水位計測が安全管理上非常に重要である。BWR の圧力容器内の水位測定、PWR の加圧器及び蒸気発生器内の水位測定など原子炉の安全運転に直接関係する。通常、発電用軽水炉における水位測定は、水圧の差から水位を測定する差圧式水位計や水面にフロートを浮かべ、その位置を検出する浮子式水位計などを用いて行っている[1]。東京電力福島第一原子力発電所の事故においては、全電源喪失により、原子炉圧力容器内水位及び使用済燃料プールの水位が測定できなくなり、事故対策及び事故後の状況の把握に大きな困難をもたらした^[2]。このため、全電源喪失時にも、小電力で作動可能な信頼性の高い水位計の開発に着手した。

原子炉内で測定可能な水位計としては、差圧式水位計や浮子式水位計などが開発されているが、原子炉計装機器としては信頼性の点で問題があった。また、差圧方式の液位計は、信号が小さく、温度による密度変化に伴う誤差が発生するという問題を含んでいる。

これら問題を解決するため、BICOTH型及びTRICOTH型水位計が開発された^{[3]-[6]}。これらの水位計は、二進法の原理により、限られた熱電対差分データから、広い範囲の水位を推定できる特徴があったが、構造的に複雑で装置が大規模になる課題があった。

本報告書はこれらの水位計をより単純化した構造とし、事故時のような過酷な条件下で、かつ、小電力バッテリー等でも測定が可能な水位計の開発をまとめたものである。

2. 従来型の水位計の調査

本章では、現在使用されているもしくは、これまで開発された原子炉内の水位を測定 するための主な計測機器について調査を行った。これらの機器の特徴について記述する。

2.1 差圧式水位計

差圧式水位計は、容器の基準レベルにおける圧力 P と液面上部に満たされているガスの圧力 P_0 との差 ΔP から、液面 H を測定するもので、センサとしては差圧計を用いる。

差圧計の位置を基準とし、液面高さ H は差圧計の指示値を ΔP 、容器底面から差圧計の位置の差を h、水の密度を ρ とすると、

$$H = \frac{\Delta P}{\rho} - h \tag{1}$$

として表される。

しかし、差圧式水位計は、液体の密度が温度と圧力によって変化すること、また、容 器内を液体が高速で流れている場合には、流れによる圧力損失が生じ、それが差圧計の 指示値に影響をおよぼす。

2.2 浮子式水位計

浮子式水位計は、液面にフロート(浮子)を浮かべ、その位置を検出することにより、液体のレベルを知るもので、差圧式水位計と同様に非常に多く用いられている。フロート位置の検出は、フロートに取り付けられた強磁性体に作用する磁気力または電磁誘導作用によって行われる。代表的な例としては、ドーナツ型フロートに磁石を取り付け、その位置をフロート用ガイド管の中にある磁石で検出するもの、容器の外側配管にフロートがあり、フロートに取り付けられた鉄心(強磁性体)の位置を差動変圧器を用いて検出するものなどがある。

2.3 BICOTH 型水位計

前述のような水位計は温度による密度変化や流れによる圧力損失に伴う誤差が発生するという問題を含んでいる。また、浮子式水位計は一般的に予め原子炉に設置することを想定しており、シビアアクシデントの状況下、高い放射線環境下で後から追加設置することは難しい。そこで、原子炉炉内水位を直接かつ正確に測定できる加熱型差動熱電対式液面計の開発が行われた。[3]

ヒータピンを水中に挿入したとき、シース表面から気相部及び、液相部への熱伝達率の違いにより、ヒータピンの軸方向温度分布は、水面の表面付近で急激に変化する。したがって、ヒータピンの表面温度分布を測定すれば、水位が検出できる。[3]-[5]

しかし、単に熱電対を取り付ける方式では測定範囲を 3m、測定精度を 10cm とすれば少なくとも 30 本、四本のうち二本を使う方式とすれば 120 本の熱電対が必要となる。そこで差動熱電対を用いた BICOTH (Binary Coded-Thermocouple-array with Heater)型水位計が開発された。BICOTH 型水位計は差動熱電対列を複数のヒータと組み合わせることにより二進信号を形成し、液位を識別する。よって原理的にはクロメルー本とクロメルとアルメルを交互に溶接した線一本の二本により水位の測定が可能である。シース型差動熱電対の中に発熱線を入れて、1本のヒータ内蔵シース型熱電対とし、それぞれのヒータ内蔵シース型差動熱電対の長さとピッチを変え2進コード化する。しかしながら、このクロメル線およびアルメルークロメル線の二本では水位が急激に乱れたとき、またボイドが発生したときなど水位の位置が分からなくなる欠点がある。よって、その欠点を軽減するために一組目のBICOTH型水位計とピッチを変えたアルメルークロメル線を有するBICHOTH水位計を同時に挿入し、信頼性を保ち熱電対の本数を減らしている。このBICHOTH型水位計についてオランダのDodeward BWRにて炉内試験を行い水位が測定可能であることが示された。Fig.1にBICOTH型水位計の概略図を示す。

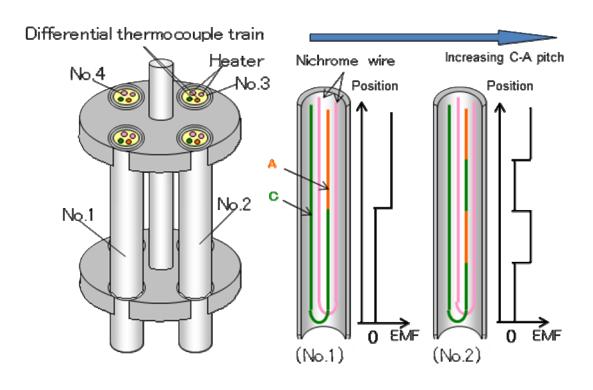


Fig.1 Schematic drawing of the BICOTH-type water level indicator

2.4 TRICOTH 型水位計

TRICOTH(Trinary Coding Thermocouple with heater)型水位計は、ワイヤがシースヒーターの中に、3種類の熱電対素線を入れる。「アルメルークロメル」ではプラス出力、「アルメルーアルメル」ではゼロ、「アルメルーコンスタンタン」ではマイナス出力の発生することから、この三種をコード化し、水位が変動しても、水位がどこにあるかを確実に測定できるようにしたものである $^{[3]}$ 。BICOTH 型が一本の水位計について 0 か+の二種類の区間に分けて水位の位置を測定していたが、TRICOTH型は一本の水位計について $^{-}$ +、 0 の三種類の区間に分けて測定することが可能であり、BICOTH 型より分解能に優れる。

TRICOTH 型水位計については、試作及び炉外での性能試験が行われた。TRICOTH 型水位計の概念図を Fig.2 に示す。

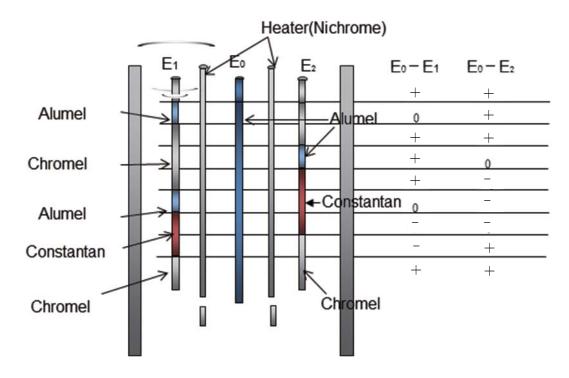


Fig.2 Schematic drawing of the TRICOTH-Type water level indicator

3. ヒータ付熱電対型水位計の試作及び性能評価試験方法

3.1 試作試験

実際に製作された BICOTH や TRICOTH 水位計は大型となり、実際に使用されたオランダ Dodewaard BWR でも取り付けポートなどで制約されるとともに、安定した電力の供給が必要不可欠である。しかしながら、東京電力福島第一原子力発電所の事故での事象を考慮すると、過酷事故の時には精度よりも、確実に気液判定が行えること、耐放射線性を有すること、簡単な構造であること、バッテリー電源で動作可能なことなどが要求されている。そこで、差動熱電対を使用せず、単純に単体の熱電対及びヒータを組み合わせ、小型で挿入可能な外部構造が MI ケーブルと直径 4.8mm から構成される小型水位計の開発を行った。

開発した水位計の構造を Fig.3 に示す。水位計はセンサユニット、MI ケーブル、測定装置より構成される。水位計のセンサユニットは熱電対一対(クロメルーアルメル)をシースで被覆し、ヒータをその外側に含む二重のシースから構成される。ヒータの発熱により表面温度が上昇すると、シース表面から気相部と液相部への熱伝達率の差異及び水の気化温度が常圧で一定であることから、気液判定が可能である。

本開発において、センサユニットから測定装置までの MI ケーブルの長さが 1m の水位計と、実際に使用することを想定し、センサユニットから測定装置までの MI ケーブルの

長さが 100m の水位計を試作した。

3.2 性能評価試験

開発した水位計の性能を確認するため、性能評価試験を行った。試験の概略図をFig.4に示す。ヒータ付き熱電対式水位計に直流電源及びデータロガーを接続し、ヒータ電圧を $1\sim5$ Vの範囲で上昇させ、センサユニットの出力温度(TC-1指示温度)及びセンサユニット垂直方向8カ所に取り付けた通常のK熱電対(TC-3~11)、周囲雰囲気温度測定用K熱電対(TC-11)、水温測定用K熱電対(TC-12)から測定される温度を測定した。

試験は、原子炉内及び使用済み燃料貯蔵プール付近の想定される温度を模擬し、27℃及び90℃の雰囲気中の水に水位計を浸漬して行い、内部ヒータ加熱時の大気中と水中における温度変化の差を内蔵されている熱電対及び外部に付加した熱電対により測定した。また、水位の変化を模擬するため、水温90℃にて測温点が気液境界(水面)の位置にある状態をJ=0とし、また、測温点が水面より上方向(大気方向)を+、また水面下方向(水中方向)を-と定義し、水位計の位置を変更することにより水位を0、+20、-20、+100 (空気中)及び-100mm(水中)と変え、性能評価試験を行った。また、交流電源及び直流電源において性能評価試験を行い、両電源による出力における温度変化測定の結果を比較した。

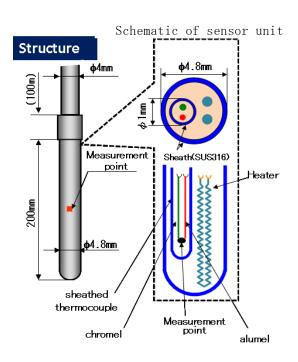


Fig.3 Schematic drawing of the new water level indicator

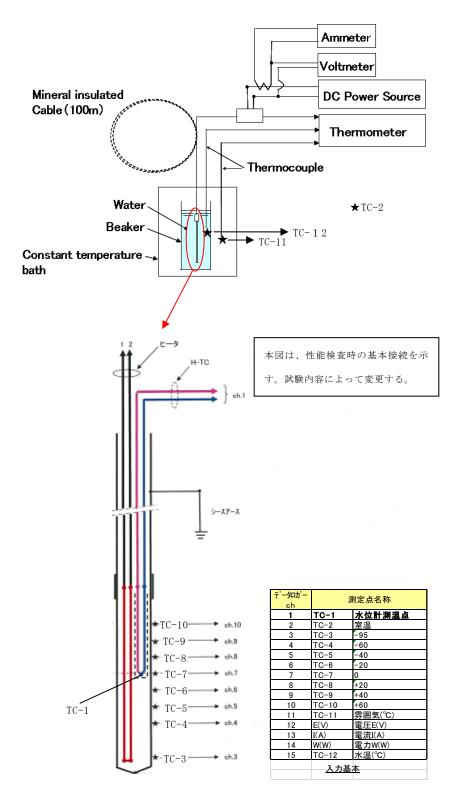


Fig.4 Performance evaluation test setup and measurement positions

4. 結果及び考察

4.1 試作結果

水位計のセンサユニットは熱電対一対(クロメルーアルメル)をシースで被覆し、また、ヒータをその外側に含む、二重のシースから構成される。また、センサユニットから測定装置まで熱電対及びヒータ用芯線は MI ケーブルにより接続される。本試作では MI ケーブル長さ 1m の水位計及び 100m の水位計を製作した。各水位計について検査を行い、製作性に問題が無いことを確認した。Table 1 に検査項目を示す。

Table 1 Inspection items

試験項目	table 1 Inspe 検査方法	判定基準	結果
外観検査	ヒータ付熱電対の外表面	左記欠陥のないこと。	合格
71 BU IX E.	に有害な傷、打こん、ク	ZE HOSCHILLS SECTION	
	ラック等がないことを目		
	視にて確認する。		
材料検査	材料メーカーの発行する	 対象材料の化学的成分、	合格
77. 村快 14.	材料試験成績書(ミルシ	機械的性質等が所定の材	I 111
	·	機械的性員等が別定の例 料規格を満足すること。	
	ート)により、対象材料の	村規俗を個定りること。	
	化学成分機械的性質等を		
LNL IA de	確認する。		A 16
寸法検査	ノギス、巻尺等の測定器	許容値内のこと	合格
	を用いて実測し、測定値		
	が所定の許容値内にある		
	ことを確認する。		
質量検査	製品の質量を測定する。	実測値を記録する	合格
液体浸透探傷検査	JIS Z 2343-1~4(2001)に	浸透指示模様のないこ	合格
	準拠し、実施する。	と。	
絶縁検査	ヒータ及び熱電対の端子	ヒータ:DC500V にて 5M	合格
	と MI ケーブル間の絶縁	Ω以上のこと。	
	抵抗を測定する。	熱電対:DC100V にて 20M	
		Ω以上かつ DC10V にて 1	
		×10 ¹² Ω以上のこと。	
導通検査	熱電対、ヒータ端子間の	断線のないこと。	合格
	導通抵抗をテスター等で		
	測定すること。		
X線透過検査	計測部からスリーブ間ま	溶接部についてブロー、	合格
	でについて X 線透過試験	溶け込み不足等の欠陥が	
	を実施する。	ないこと。	

4.2 水位計(MI ケーブル長さ 1m)の試験結果

製作したMIケーブルの長さ1mの水位計について性能評価試験を行った。常温大気中における試験結果をFig.5に示す。また、常温水中における水位計の性能評価試験の結果をFig.6に高温水中における水位計の性能評価試験の結果をFig.7にそれぞれ示す。常温、高温とも水中にセンサユニットを浸漬した条件では、測温点の示す温度は低く抑えられるが、大気中にセンサユニットを置いた条件では測温点が示す温度は大きく上昇した。

また、水位をセンサユニットの測温点の位置を基準として-20mmとしたときの水位計の性能評価試験の結果をFig.8に、0mmとしたときの水位計の性能評価試験の結果をFig.9に+20mmとしたときの水位計の性能評価試験の結果をFig.10にそれぞれ示す。

常温、高温とも水中にセンサユニットを浸漬した条件では、センサユニットの示す温度は沸点以下に抑えられるが、大気中における試験では、温度は大きく上昇した。高温水中、常温水中、空気中におけるセンサユニットの測定温度をFig.11に示す。

これらの結果から、水位計中心から水面の位置を変化させた時の温度変化をFig.12に示す。水面から20mm離れたところで水温90℃において $\Delta T = 50$ ℃、水温27℃では $\Delta T = 25$ ℃ の温度差が付いた。これまでの経験から20℃以上の温度差が付けば気液判定は可能であり、 ± 20 mm程度の精度で水面を確認することが出来た。測定データの一覧をTable 2に示す。水位計は、水温の高低にかかわらず、水中と大気中で大きな温度差を示し、水中と大気中の区別が可能であった。

4.3 水位計(MI ケーブル長さ 100m)の試験結果

東京電力福島第一原子力発電所の事故のような過酷状況下では高い線量の影響などによりセンサユニットの設置場所に測定者が近づけない状況が想定される。このために100mのMIケーブルを有する水位計を製作した。製作したMIケーブル長さ100mの水位計の写真をFig.13に示す。100mのMIケーブル長さを有する水位計について、常温大気中における水位計の性能評価試験の結果をFig.14に、常温水中における水位計の性能評価試験の結果をFig.16にそれぞれ示す。4.3節に示したMIケーブル長さ1mの水位計と同様に、常温水中、高温水中とも水中にセンサユニットを浸漬した条件では、センサユニットの示す温度は低く抑えられるが、大気中における水位計の性能評価試験において温度は大きく上昇し、水位が測定可能であることを示した。従って、100mのシースを有する水位計はシース長さ1mの水位計と同等の性能を示すことを明らかにした。

4.4 異なる電源による性能評価

Fig.17にAC電源を用い水位計を常温水中に浸漬した試験結果をFig.18にAC電源を用い水位計を大気中においての試験結果を示す。AC電源を用いた試験においてもDC電源と同様に、水中にセンサユニットを浸漬した条件では、センサユニットの示す温度は低く抑えられるが、大気中における水位計の性能評価試験において温度は大きく上昇し、水位が測定可能であることを示した。これにより開発した水位計はAC電源及びDC電源で問題

なく使用できることを明らかにした。

4.5 熱電対型水位計の性能比較

BICOTH 型水位計及び TRICOTH 型水位計と開発した水位計の比較を Table3 に示す。 開発した水位計は従来の水位計に比べ非常に小型で、小電力にてセンサ部より遠い地点 で測定が可能である。

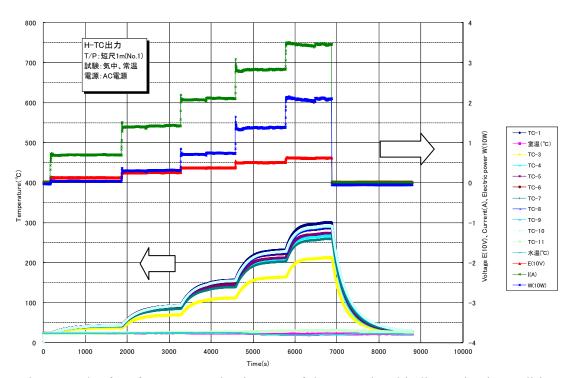


Fig.5 Result of performance evaluation test of the water level indicator in air condition (MI Cable length: 1m, DC power, Position of water surface is lower than the sensor[TC1~ TC11 are in air, +100mm])

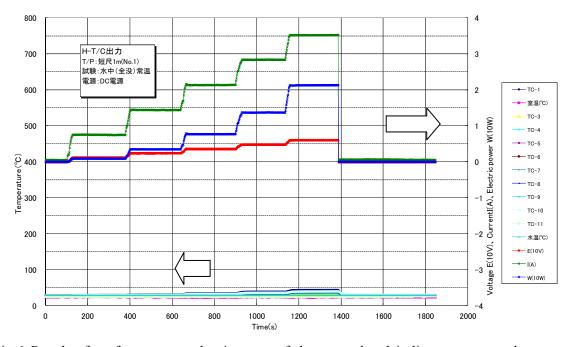


Fig.6 Result of performance evaluation test of the water level indicator at normal temperature underwater condition (MI Cable length: 1m, DC power, [TC1~TC11 are under water, -100mm])

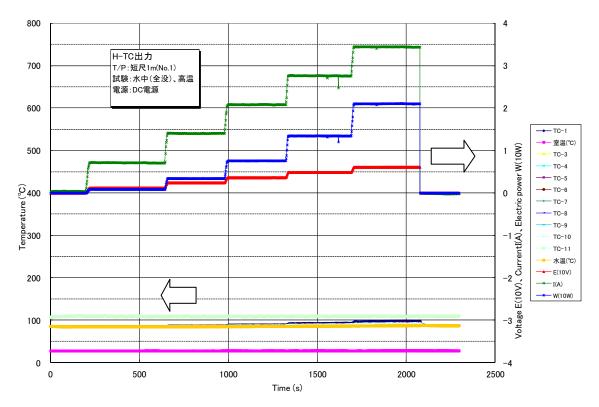


Fig.7 Result of performance evaluation test of the water level indicator at high temperature underwater condition (MI Cable length: 1m, DC power, [TC1~TC11 are under water, -100mm])

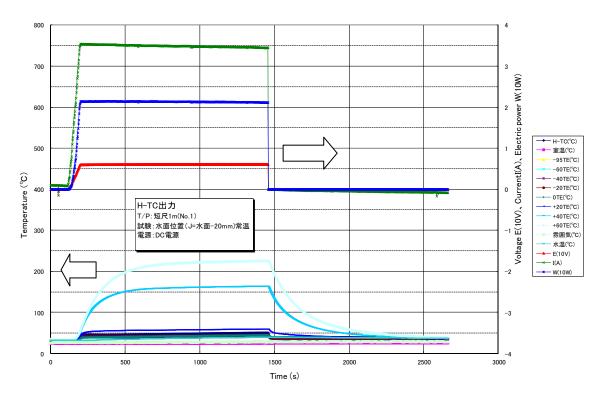


Fig.8 Result of Water position changing test, Water surface -20mm (MI Cable length: 1m, DC power, Position of water surface is same as TC-6)

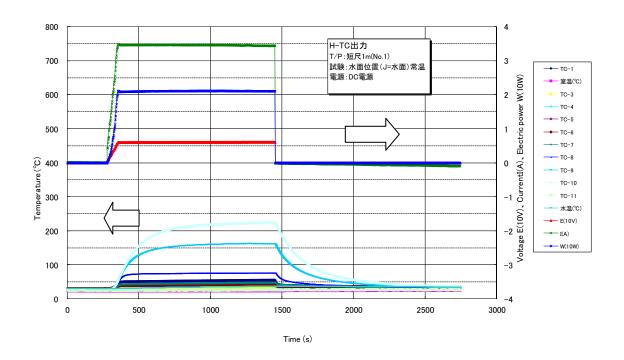


Fig.9 Result of Water position changing test, Water surface 0mm (MI Cable length: 1m, DC power, Position of water surface is same as TC-1 and TC-7)

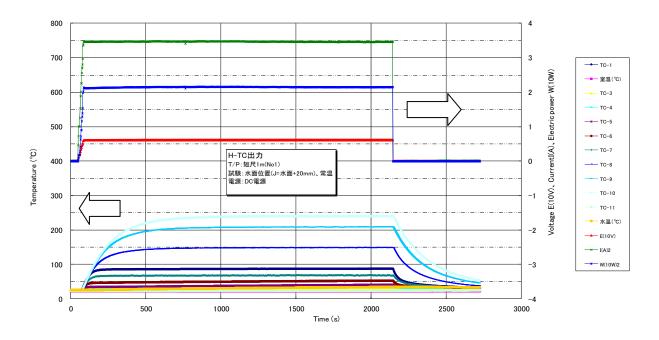


Fig.10 Result of Water position changing test, Water surface +20mm (MI Cable length: 1m, DC power, Position of water surface is same as TC-8)

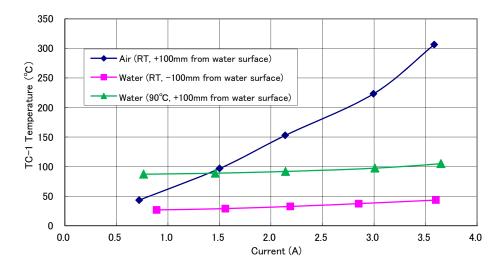


Fig.11 Temperature difference of TC-1 in different environmental conditions as a function of current

Table 2 Results of performance evaluation tests and water position changing tests of the water level indicator

	設定電圧 (1V)	時刻	TC-1(°C)	TC-2(°C)						CH1-1-8[°C]	CH1-1-9[°C]	CH1-1-10[°C]	CH1-1-11[°C]	CH1-1-15[°C]	CH1-1-12[V]				
	(1) ()	T I		10-2(0)	TC-3(°C)	TC-4(°C)	TC-5(°C)	TC-6(°C)	TC-7(°C)	TC-8(°C)	TC-9(°C)	TC-10(°C)	TC-11(°C)	TC-12(°C)	E(V)	I(A)	W(W)	Sd(W/cm2)	(TC-1)の雰囲気との温度差(°C)
			内部	先端	先端近傍	-60	-40	-20	0	20	40	60	雰囲気	水温	電圧	電流	電力	電力密度	
		15:07:22	43	35	37	41	42	43	43	43	44	45	24	-	1.40	0.72	0.45	0.02	19 (TC-1)-(TC-11)
	(2V)	15:36:54	97	61	73	87	91	94	95	96	99	102	25		2.75	1.50	3.65	0.10	72 (TC-1)-(TC-11)
常温大気中	(3V)	15:56:40	153	89	110	135	142	146	148	151	155	160	27		3.93	2.14	7.90	0.21	
-	(4V)	16:18:18	223	124	157	196	205	211	214	218	225	232	29		5.51	2.99	16.05	0.40	
	(5V)	16:32:38	306	166	214	267	279	288	292	297	295	295	33	-	6.67	3.58	23.45		274 (TC-1)-(TC-11)
-	(1V)	17:39:04	27	24	25	25	25	26	26		27	28	25	26	1.69	0.89	0.85	0.04	0 (TC-1)-(TC-12)
	(2V)	17:42:02	29	24	25	26	27	27	27	28	28	29	25	26	2.85	1.56	3.95	0.11	2 (TC-1)-(TC-12)
常温水中	(3V)	17:45:36	33	24	26	28	28	29	29	30	30	31	25	27	4.00	2.19	8.25	0.22	6 (TC-1)-(TC-12)
-	(4V)	17:50:46	37	24	27	30	31	31	32	33	33	34	25	28	5.21	2.85	14.30	0.37	10 (TC-1)-(TC-12)
	(5V)	17:55:16	43	25	29	32	33	34	35	36	36	37	25	28	6.59	3.60	23.15	0.58	15 (TC-1)-(TC-12)
-	(1V)	18:27:04	87	86	86 87	86	86	86	86	86	86	87	110	87	1.47	0.77	0.50	0.03	0 (TC-1)-(TC-12)
+ 18 (a a la	(2V)	18:31:22	89	87		88	87	87	87	87	87	87	111	87	2.71	1.46	3.35	0.10	2 (TC-1)-(TC-12)
高温(90℃水中)	(3V)	18:35:12	92	87	88	89	88	89	89	88	88	88	110	87	3.95	2.14	7.90	0.21	4 (TC-1)-(TC-12)
-	(4V) (5V)	18:47:04	97	89 91	91	91 96	92	92 95	91	92	91	92	110	89	5.54 6.74	3.01	16.30 21.65	0.41	8 (TC-1)-(TC-12)
水面位置(常温)	(5V)	18:59:28 11:35:19	49	24	29	35	37	39	43	64	95 167	96	27	92 37	6.74	3.62	23.70	0.60	13 (TC-1)-(TC-12) 11 (TC-1)-(TC-12)
水田位直(常温) J=水面-20mm	(5V)		49 常温水中(J=水ī			35	37	39	43	64	167	231	27	37	6.70	3.62	23.70	0.59	11 (1G-1)-(1G-12)
3-水面-20mm 水面位置(90°C)	(5V)	5:52:18	<u> お温水中 (J-水)</u> 100	щ-20mm): 90	93	95	94	95	94	88	185	258	110	89	6.71	3.59	24.09	0.58	11 (TC-1)-(TC-12)
J=水面-20mm	(34)		高温(90℃)水中			30	34	90	34	- 00	100	230	110	09	0.71	3.35	24.09	0.36	11 (10-1)-(10-12)
水面位置(常温)	(5V)	17:43:33	61	31	36	44	46	49	60	85	186	241	30	40	6.72	3.62	24.31	0.59	22 (TC-1)-(TC-12)
/上水面	(34)		常温水中(J=水ī		30		40	43	00	00	100	241	30	40	0.72	3.02	24.01	0.09	22 (10-1)-(10-12)
水面位置(90°C)	(5V)	20:35:55	100	88	91	93	92	93	91	184	258	286	112	88	6.69	3.59	23.40	0.58	11 (TC-1)-(TC-12)
小皿位置(30 G)	(01)		高温(90℃)水中			30	32	30	- 31	104	200	200	112	- 00	0.03	0.00	20.40	0.00	(10 1) (10 12)
水面位置(常温)	(5V)	12:41:18	79	25	29	36	39	51	71	157	219	249	26	34	6.50	3.51	22.25	0.55	45 (TC-1)-(TC-12)
J=水面+20mm	(01)		常温水中(J=水)			30	- 55		71	107	210	240	20	34	0.50	0.01	22.20	0.00	10 (10 1) (10 12)
水面位置(90°C)	(5V)	21:57:56	150	86	89	91	91	88	155	257	292	307	112	86	6.48	3.47	21.35	0.54	63 (TC-1)-(TC-12)
J=水面+20mm	/		高温(90℃)水中				- 01	- 00	100	207	202	007		- 00	0.10	0.17	_1.00	0.01	11 () (10 12)

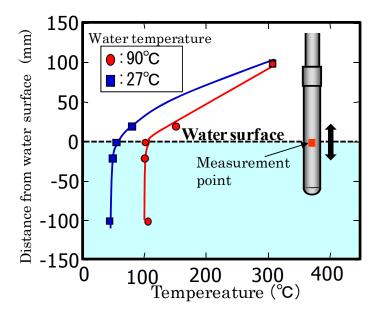


Fig.12 Relationship between water surface position and measured temperature by the water level indicator



Fig. 13 Photograph of the water level indicator with 100m MI cable

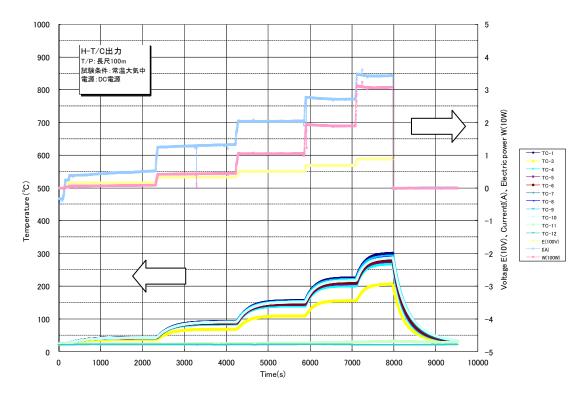


Fig.14 Result of performance evaluation test of the water level indicator with 100m MI cable in air condition (MI Cable length: 100m], DC power, Water level +100mm)

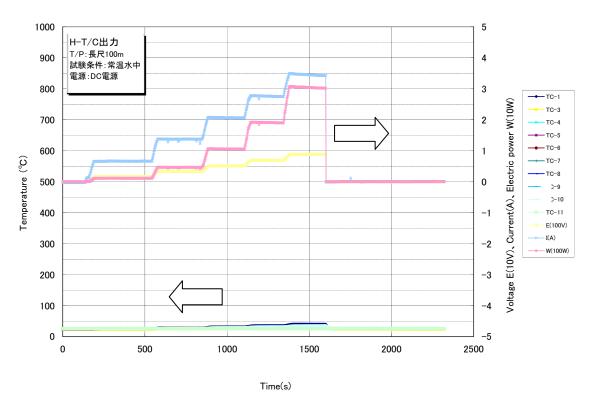


Fig.15 Result of performance evaluation test of the water level indicator with 100m MI cable at room temperature underwater condition (MI Cable length: 100m], DC power, Water level -100mm)

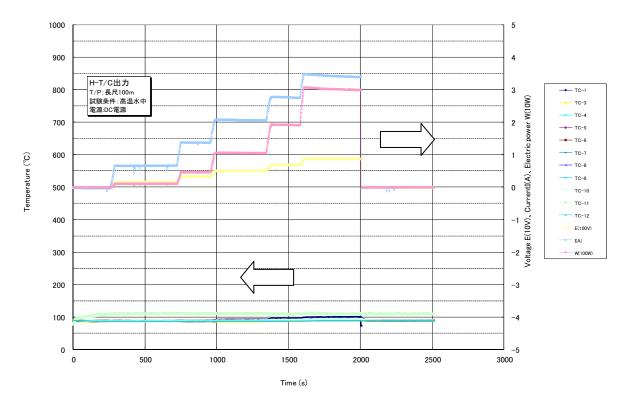


Fig.16 Result of performance evaluation test of the water level indicator with 100m MI cable at high temperature underwater condition (MI Cable length: 100m], DC power, Water level

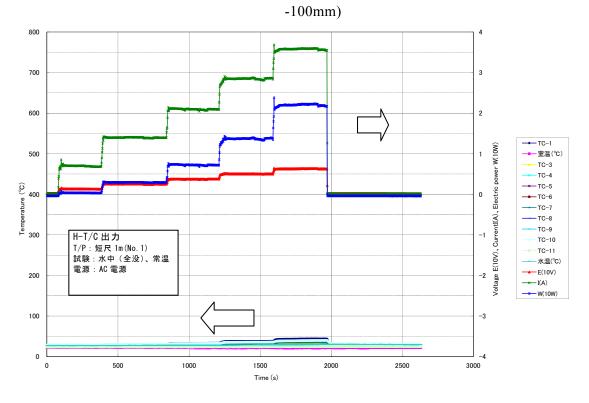


Fig. 17 Result of performance evaluation test of the water level indicator using AC power at room temperature underwater condition (MI Cable length: 1m], AC power, water level -100mm)

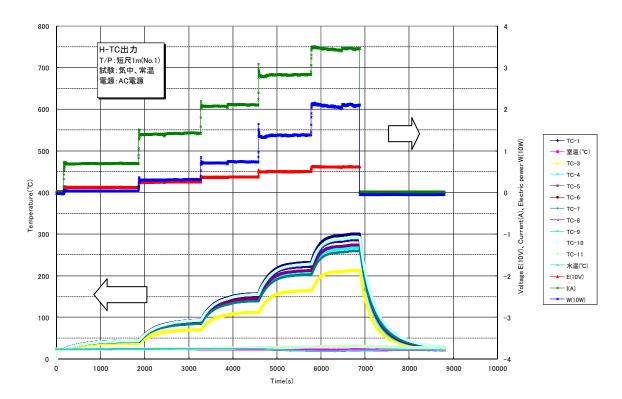


Fig. 18 Result of performance evaluation test of the water level indicator using AC power in air condition (MI Cable length: 1m], AC power, water level +100mm)

Table 3 Comparison of the new water indicator, BICOTH type water level indicator and TRICOTH type water level indicator

		Type BICOTH for Dodewaard BWR	Prototype TRICOTH	The developed water level indicator
Dete	cting method	Heating differential	thermocouple train method	Heating thermocouple method
Diam	eter of sensor	φ1.6mm	ϕ 3.2mm	ϕ 4.8mm
Num	ber of sensor	8(with support ring of ϕ 20mm)	1	1
Length	n of sensor unit	800mm	1400mm	200mm
Length	of MI lead cable	22m	2.6m	100m
Material	Material of thermocouple		Chromel, Alumel, Constantan	Chromel, Alumel
Electrical Volta	Electrical Voltage, current, and electric		20V, 0.9A, 18W	5V, 3.5A, 17.5W
Ро	wer density	0.75W/cm ²	0.13W/cm ²	0.58W/cm ²
Danner	up steps of water level	0.5s(63% output of power)	2s(50% output of power)	4s(63% output of power) 3s(50%)
Response	down steps of water level	83s (63% output of power)	3min (50% output of power)	8min (63% output of power) 6min20s(50%)
Accuracy of measured water level		±30mm	±160mm (Pitch of thermocouple shorter brought accuracy)	±20mm
User's a	nd Test condition	290°C 7MPa	Room temp, Normal pressure	20-90°C, Normal pressure

5 結論

熱電対を使用した新型水位計の開発を行った。開発した水位計は、全て無機物から構成され、構造的にきわめてシンプルであることから、耐熱、耐放射線性に優れており、 過酷な条件下でもセンサを遠隔で挿入すれば、水位の測定が可能である。

性能確認試験を行い、±20mm程度の精度で測定が可能であることを示した。

開発した熱電対型水位計はヒータ電源として直流電源と交流電源どちらを用いても測定が可能であり、また、100mのシース長さを有する水位計を製作することが可能であることを示した。

よって、今回開発したヒータ付き熱電対式水位計は、従来の水位計に比べ、小型、シンプルでありながら、東京電力福島第一原子力発電所の事故における事象のような全電源喪失時にも、バッテリーレベルの小電力で作動可能であり、燃料貯蔵プール用水位計及び過酷事象時の原子炉用水位計としては優位性があることが確認できた。

謝辞

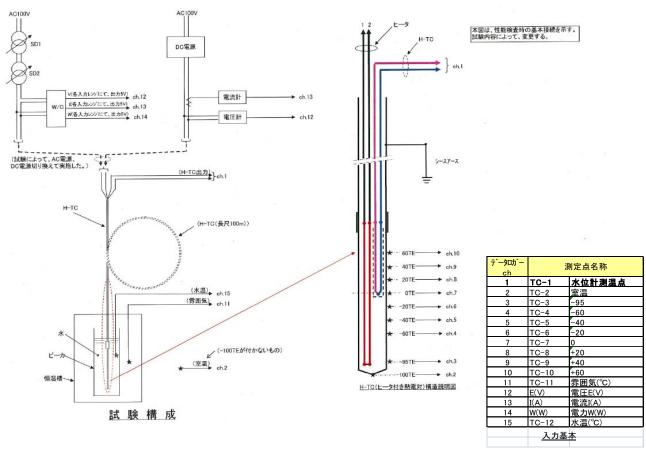
本報告書をまとめるにあたり、福島廃炉技術安全研究所 河村弘所長、長岡技術科学大学 鈴木雅秀教授及び元岩手大学客員教授荒克之先生から有意義なご助言、ご指導を頂きました。ここに記して関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 川口千代二 荒 克之,原子炉の計測, 1978, 幸書房 pp. 93-107
- [2] 原子力安全に関する I A E A 閣僚会議に対する日本国政府の報告書,2011
- [3] 荒 克之他、「2進コード化熱電対水位計の開発と炉容器内水位計測への適用試験」 日本原子力学会誌、35(11),pp.999-1014(1993)
- [4] 荒 克之他、「加熱型差動熱電対式液面計の開発」計測と制御 23(8),pp.700-707(1994)
- [5] K.Ara et.al. 'Design and Experience with the BICOTH Type Reactor Water level' IEEE Transactions on Nuclear Science 36(1) pp.1251-1255(1989)
- [6] K.Termaat et.al. 'Fabrication of TRICOTH-Type Reactor Water Level Sensor' IEEE Transactions on Nuclear Science 37(2) pp.1024-1031(1990)

付録

試験の測定環境及び通電条件を添付する。



(TC 番号は Fig. 4 に準拠する)

性能検査 ヒータ抵抗と通電条件

タイプ : 短尺1m(No.1)【DD-025-170(No.1)】						
	ヒータ部		端子部			
抵抗(実測値)	印加電圧	電流(計算値)	導通抵抗(実測値)	電流(設計値)	印加電圧	
	1 V	0.70A		0.70A	1.288V	
[2V	1.40A	·	1.40A	2.576V	
1.429Ω	3V	2.10A	1,84Ω	2.10A	3.864V	
[4V	2.80A		2.80A	5.152V	
	5V .	3.50A		3.50A	6.440V	

No.	測定箇所	
1	計測部温度計(HTC)	(°C)
2		
3	シース外周温度計(- 95TE)	(°C)
4	シース外周温度計(- 60TE)	(°C)
5	シース外周温度計(- 40TE)	(°C)
6	シース外周温度計(- 20TE)	(℃)
7	シース外周温度計(OTE)	(°C)
- 8	シース外周温度計(+ 20TE)	(°C)
9	シース外周温度計(+ 40TE)	(°C)
10	シース外周温度計(+ 60TE)	(°C)
11	雰囲気(恒温槽)	(℃)
12	水温	(°C)
13	ヒータ電圧(E)	· (V) ·
14	ヒータ電流(I)	(A)
15	ヒータ電力(W)	(W)

タイプ : 短尺1m(No.2)【DD-025-170(No.2)】							
	ヒータ部		端子部				
抵抗(実測値)	印加電圧	電流(計算值)	導通抵抗(実測値)	電流(設計値)	印加電圧		
	1V	0.72A		0.72A	1.296		
	2V	1.44A	1.80 Ω	1.44A	2.592		
1.392 Ω	3V	2.16A		2.16A	3.888		
	4V	2.83A]	2.83A	5.094		
	5V	3.59A	1	3.59A	6.462		

No.	測定箇所	
1	計測部温度計(HTC)	(°C)
2	シース外周温度計(-100TE)	(°C)
3	シース外周温度計(- 95TE)	(°C)
4	シース外周温度計(- 60TE)	(°C)
5	シース外周温度計(- 40TE)	(°C)
6	シース外周温度計(- 20TE)	(°C)
7	シース外周温度計(OTE)	(°C)
8	シース外周温度計(+ 20TE)	(ဗို)
9	シース外周温度計(+ 40TE)	(°C)
10	シース外周温度計(+ 60TE)	(°C)
11	雰囲気(恒温槽)	(°C)
12	水温	(ပို
13	ヒータ電圧(E)	(V)
14	ヒータ電流(1)	(A)
15	ヒータ電力(W)	(W)

タイプ : 長尺100m【DD-025-169】							
	ヒータ部		端子部				
抵抗(実測値)	印加電圧	電流(計算値)	導通抵抗(実測値)	電流(設計値)	印加電圧		
	1V	0.73A	23.03 Ω	0.73A	16.812V		
	2V	1.46A		1,46A	33.668V		
1.369 Ω	3V	2.19A		2.19A	50.436V		
	4V .	2.92A		2.92A	67.248V		
	5V	3.65A		3.65A	84.060V		

No,	測定箇所	
1	計測部温度計(HTC)	(°C)
2		
3	シース外周温度計(- 95TE)	(°C)
4	シース外周温度計(- 60TE)	(°C)
5	シース外周温度計(- 40TE)	(°C)
6	シース外周温度計(- 20TE)	. (°C)
7	シース外周温度計(OTE)	(°C)
8	シース外周温度計(+ 20TE)	(ిరి)
.9	シース外周温度計(+ 40TE)	(°C)
10	シース外周温度計(+ 60TE)	(%)
_11	雰囲気(恒温槽)	(°C)
12	水温	(°C)
13	ヒータ電圧(E)	(V)
14	ヒータ電流(I)	(A)
15	ヒータ電力(W)	(W)

This is a blank page.

国際単位系(SI)

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本i	単位
本半里	名称	記号
長 さ	メートル	m
質 量	キログラム	kg
時 間	秒	s
電 流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光 度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	SI 基本単位		
和立里	名称	記号		
面	積 平方メートル	m^2		
体	積 立法メートル	m^3		
速 さ , 速	度メートル毎秒	m/s		
加速	度メートル毎秒毎秒	m/s^2		
波	数 毎メートル	m ⁻¹		
密度, 質量密	度キログラム毎立方メートル	kg/m ³		
面 積 密	度キログラム毎平方メートル	kg/m ²		
比 体	積 立方メートル毎キログラム	m³/kg		
電 流 密	度アンペア毎平方メートル	A/m ²		
磁界の強	さアンペア毎メートル	A/m		
量濃度 ^(a) ,濃	度 モル毎立方メートル	mol/m ³		
質 量 濃	度キログラム毎立法メートル	kg/m ³		
輝	度 カンデラ毎平方メートル	cd/m ²		
屈 折 率	(b) (数字の) 1	1		
比 透 磁 率	(b) (数字の) 1	1		

- (a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度
- (albatine concentration) ともよばれる。 (substance concentration) ともよばれる。 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	衣 3.	固有の名称と記さ	アじ衣さ		
Y				SI 組立単位	
平 面 角 ラジアン ^(b) rad 1 (b) m/m m²m² m²	組立量	夕新	和品	他のSI単位による	SI基本単位による
立 体 角 ステラジアン(b) sr ^(c) Hz			記り	表し方	表し方
周 波 数				1 (в)	
カ			sr ^(c)	1 ^(b)	
正 カ , 応 カ パスカル	周 波 数	ヘルツ ^(d)	Hz		s^{-1}
エネルギー, 仕事、熱量ジュール	力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
仕事率,工率,放射東ワット で C	圧 力 , 応 力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
電 荷 ,電 気 量 クーロン	エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
電位差(電圧),起電力ボルト	仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
静 電 容 量 ファラド F C/V $m^2 kg^{-1} s^4 A^2$ 電 気 抵 抗 オーム Ω V/A $m^2 kg s^3 A^2$ $m^2 kg s^2 A^1$ $m^2 kg s^2 A^2$ $m^2 kg s^2$	電 荷 , 電 気 量	クーロン	C		s A
電 気 抵 抗 オーム Ω V/A $m^2 kg s^3 A^2$ $m^2 kg s^2 A^{1}$ $m^2 kg s^2 A^{2}$ $m^2 $	電位差(電圧),起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
コ ン ダ ク タ ン ス ジーメンス	静 電 容 量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$
磁 東 ウエーバ Wb Vs $m^2 \log s^2 A^{-1}$		オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
磁 東 密 度テスラ T Wb/m² $kg s^2 A^{ 1}$ $A 2 2 4 2 2$	コンダクタンス	ジーメンス	s	A/V	$m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$
イ ン ダ ク タ ン ス へンリー せ ル シ ウ ス 温 度 セルシウス度 $^{(e)}$ し $^{(e)}$ に	磁東	ウエーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
セルシウス度 ^(c)		テスラ	Т	Wb/m ²	$kg s^{-2} A^{-1}$
光 東ルーメン lm lx cd sr(c) lm/m² cd m² cd sr(c) lm/m² 照 ルクス lx lm/m² lm² cd sr(c) lm/m² s² cd		1 * /		Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
照 度 ルクス lx lm/m² m² cd s¹ wクレル (d) Bq lm/m² graght http://www.scales.com/s² cd s¹ wow.scales.com/s² cd s¹ wow.scales.com/s² cd s¹ wow.scales.com/s² cd s² wow.scales.com/s²		セルシウス度 ^(e)	$^{\circ}$ C		K
放射性核種の放射能 (f) ペクレル (d) Bq g収線量, 比エネルギー分与, カーマ ab By B B III 線長 H B III k B II k B			lm	cd sr ^(c)	
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ 幼島半場長 周河線最半長 五頃			lx	lm/m ²	
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ 場景平景 周辺線景平景 五頃	放射性核種の放射能 (f)	ベクレル ^(d)	Bq		s^{-1}
組長半長 国辺線長半長 大向		ガレイ	Gv	.I/kα	m ² a ⁻²
線量当量,周辺線量当量,方向 2 2 2		, ,	Gy	o/kg	III 8
	線量当量, 周辺線量当量, 方向	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
性線量当量,個人線量当量 ジーベルト *** SV J/Rg m s	性線量当量,個人線量当量	シーベルト、。	۵V	o/Kg	m s
酸素 活性 カタール kat s ⁻¹ mol mol mol mol mol mol mol mol mol		-			

- 酸素活性|カタール kat | s¹mol (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (e) 池外学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している(d) へルソは周頻現象についてのみ、ペクレルは放射性接種の統計的過程についてのみ使用される。(d) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きなは同である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はとちらの単位で表しても同じである。(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表 4 単位の由に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

表 4 . 単位 0)中に固有の名称と記号を含		立の例
	S	I 組立単位	
組立量	名称	記号	SI 基本単位による 表し方
粘 度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角 速 度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角 加 速 度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度,放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量,エントロピー		J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量,比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 s^{-2}$
熱 伝 導 率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ sA
	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
電 束 密 度 , 電 気 変 位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
誘 電 率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg⁻¹sA
吸 収 線 量 率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 s^{-3}$
放射 強 度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s
放射輝 度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 sr)$	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

	表 5. SI 接頭語									
ľ	乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号				
	10^{24}	ヨ タ	Y	10 ⁻¹	デ シ	d				
	10^{21}	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c				
	10^{18}	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m				
	10^{15}	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ				
	10^{12}	テラ	Т	10-9	ナーノ	n				
	10^{9}	ギガ	G	10-12	ピコ	р				
	10^{6}	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f				
	10^{3}	丰 口	k	10 ⁻¹⁸	アト	a				
	10^{2}	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z				
	10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	у				

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位						
名称	記号	SI 単位による値				
分	min	1 min=60s				
時	h	1h =60 min=3600 s				
目	d	1 d=24 h=86 400 s				
度	۰	1°=(п/180) rad				
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad				
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad				
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²				
リットル	L, l	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³				
トン	t	1t=10 ³ kg				

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

名称				記号	SI 単位で表される数値				
電	子 オ	ベル	ト	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J				
ダ	ル	卜	ン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg				
統-	一原子	質量单	单位	u	1u=1 Da				
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m				

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位 記号 SI 単位で表される数値 名称 1 bar=0.1MPa=100kPa=10⁵Pa bar 水銀柱ミリメートル nmHg 1mmHg=133.322Pa オングストローム $1 \text{ Å=0.1nm=100pm=10}^{-10} \text{m}$ Å 海 里 1 M=1852m Μ $1 b=100 \text{fm}^2=(10^{-12} \text{cm})2=10^{-28} \text{m}^2$ バ b kn 1 kn=(1852/3600)m/s ネ Np SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。 11 В ル dB -

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダ イ ン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St =1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb =1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フ ォ ト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガ ウ ス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10³/4π)A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≦ 」は対応関係を示すものである。

表10 SIに届さないその他の単位の例

	表10. SIに属さないその他の単位の例							
名称 記号					記号	SI 単位で表される数値		
牛	ユ		IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq		
ν	ン	卜	ゲ	ン	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$		
ラ				ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy		
ν				ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv		
ガ		ン		7	γ	1 γ =1 nT=10-9T		
フ	x		ル	3		1フェルミ=1 fm=10-15m		
メー	ートル	系	カラ:	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg		
卜				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa		
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa		
力	口		IJ	ı	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー),4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー)		
3	ク		U	ン		1 u =1um=10 ⁻⁶ m		