技術資料

船尾管軸受温度センサーの取付け要領と感温効果*

日本舶用機関学会
軸系研究委員会

Fitting Method of stern Tube Bearing Sensor and its Effect on Temperature Sensing

By Propeller and Shafting Committee

Although a temperature sensor for stern tube bearing is one of the most important items in the propulsion shafting system in the sense of knowing the operating condition of stern tube bearing, the relations among positioning and structuring for installation of the temperature sensor and sensing effectiveness is not fully understood and method of sensor installation is different among the respective companies.

Under the circumstances, simulation about sensing effectiveness is carried out in the use of model testing devices, and information about installation of temperature sensor and measured value of temperature is gathered from actual ships.

As a result of them, essential points on installing the temperature sensor and monitoring temperature are rounded up in order.

1. まえがき

船尾管軸受メタルに取付けられる温度センサーは，船尾管軸受の運転状態を感知する重要なセンサーである．

しかし，その取付け要領は各社各様のようであり，取付け構造やメタル表面からの深さ，センサー先端部の封入物の有無などと感温効果の関係も把握されていないのが実情である．

このようなことから船尾管軸受メーカーである日本ドーバー（株）では，感温効果に関するモデル実験を行い，その結果を当委員会において発表した．

当委員会では，この実験結果について討議するとともに，実船における温度センサーの取付け要領および計測値の実情を把握するためにアンケート調査を行った．さらにこれらの結果をもとに温度センサー取付けおよび温度計測において留意すべき点を整理した．

以下に，これらモデル実験結果および当委員会における調査討議結果について報告する．

なお，本稿はアンケート回答との関係で従来の単位系を使用している．

*原稿受付　平成2年6月26日

2. モデル実験

船尾管軸受の温度センサーとしては一般に測温抵抗体が用いられる．測温抵抗体の取付け要領と表示温度の関係を調査するために2種類の実験を行った．いずれの実験もセンサーのメタル表面からの位置，センサー孔への取付け深さ，センサー取付け孔への封入物の有無などの影響を調査するのが目的である．

最初の実験（その1）は内径440 mmの軸受の一部分を切り取った軸受片を比較的緩やかに加熱して行い，2度目の実験（その2）は内径144 mmの軸受半分を急速に加熱して行った．

2.1 実験（その1）

2.1.1 実験装置

供試軸受　台金　幅135 mm×厚さ35.5 mm ×長さ110 mm　S25C
　　軸受メタル　厚さ2 mm　WJ2
使用機器　測温抵抗体　JIS・C1604 φ4.8×全長2 m SUS外筒
　　サーモカップル　JIS・C1602・K
　　温度記録計　12点自動打点記録式
　　ヒートブロア　1KW
配置　図1に示す．
センサー取付け位置　図2に示す．

図に示すように表面近くに測温抵抗体1ヶ，サーモカップル10ヶを取付けた．

2.1.2　実験の方法　供試軸受に測温抵抗体とサーモカップルを取付け，軸受メタル表面を熱風で加熱し，それぞれの温度上昇の状況を計測した．その温度の上昇勾配については，常温から約100℃一定になるまで約2時間で到達するようにした．

表1に示すように，感温部の挿入孔への封入者については，液体（3種類）を封入するか，または全く何も入れない場合の合わせて4通り，感温部の挿入深さについては，底まで一杯入れた場合と，その底より約5mm浅くした場合の2通りとし，それぞれの組み合わせで8通りの実験を行った．

2.1.3　実験結果　図3～6に示す．いずれも加熱開始からサーモカップル表示温度が約100℃に一定になるまでの測温抵抗体およびサーモカップルの表示温度の推移を示す．10ヶのサーモカップルの表示温度はいずれも同じであった．この程度の位置の差は影響が無いということである．図では①のサーモカップルの値を代表として示している．封入物については潤滑油，グリース，エチレングリコールの間で差は無かった．図では潤滑油の場合で代表して示している．

2.2　実験（その2）

最初の実験で，表面からの深さ5mm程度，軸方向，周方向10～20mm程度の範囲では差が無いことが分かったので，位置による影響を知るために半割の軸受を用い，センサーを深さ方向，軸方向，周方向に散在させ取付けた．また，船尾管軸受の

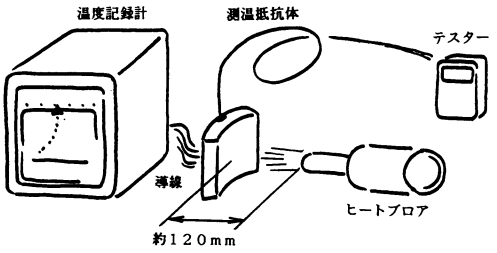


図1　実験装置の配置（実験その1）

表1．実験条件の種類（実験その1）

条件番号	1－1	1－2	1－3	1－4	1－5	1－6	1－7	1－8
封入物	潤滑油	潤滑油	なし	なし	グリース	グリース	エチレングリコール	エチレングリコール
孔への挿入深さ	孔底へ接触	5mm離し	孔底へ接触	5mm離し	孔底へ接触	5mm離し	孔底へ接触	5mm離し

注　潤滑油　JIS　添加タービン油4号相当
　　グリース　非鉛系極圧グリース

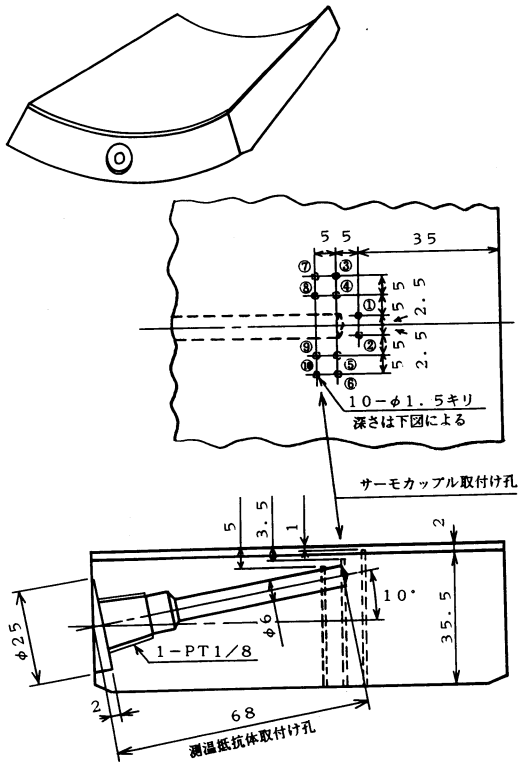


図2　測温抵抗体とサーモカップルの取付け位置（実験その1）

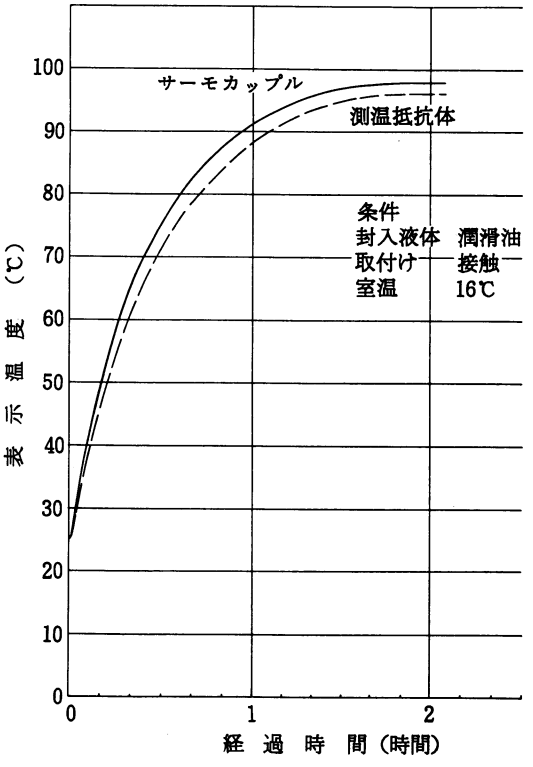


図3　測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化（実験その1，条件1－1）

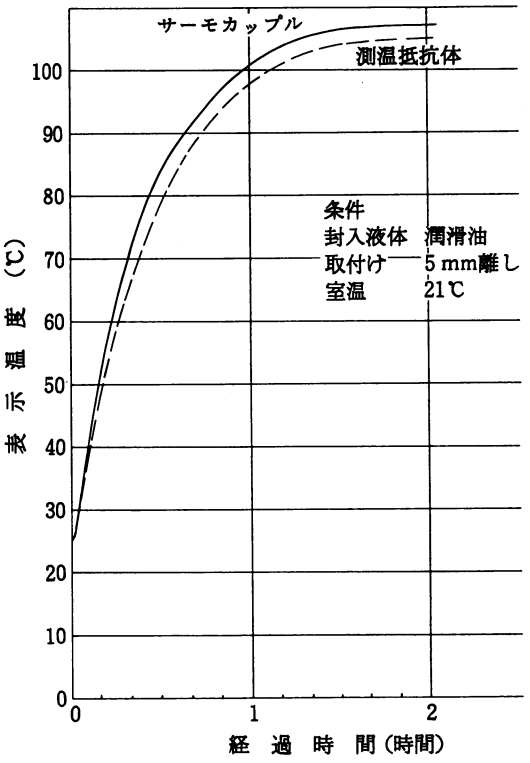


図4 測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化（実験その1，条件1－2）

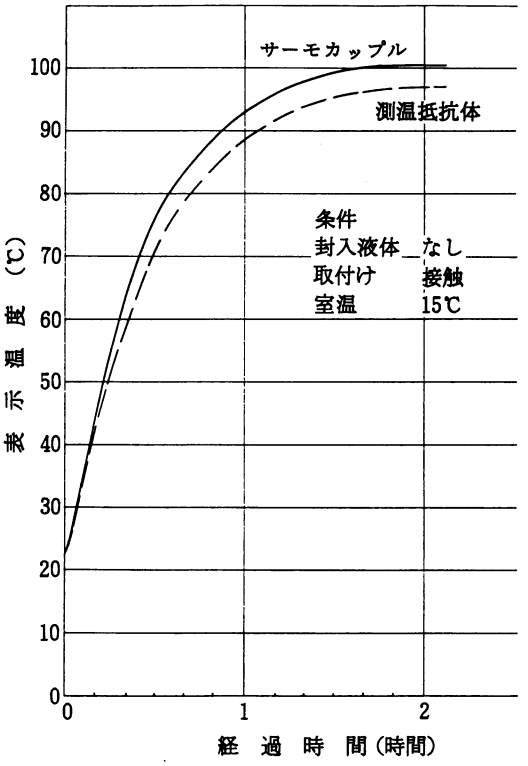


図5 測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化（実験その1，条件1－3）

軸受面に焼き付きなどの異常が発生し，軸受メタルの表面温度が急上昇する場合を想定して加熱温度を高くし，また加熱速度を増した．

2.2.1 **実験装置**

供試軸受　台金　幅 260 mm×厚さ 57 mm ×長さ 150 mm　FC20

軸受メタル　厚さ 3 mm　WJ7

使用機器　測温抵抗体　JIS・C1604 φ4.8×全長 2 m SUS 外筒

サーモカップル　JIS・C1602・K

温度記録計　12 点自動打点記録式

プロパンガスバーナー

配置　図7に示す．

センサー取付け位置　図8に示す．

測温抵抗体感温部の取付け位置は一般に実施されている一つの例に倣い，軸受メタル表面から25mmの位置とした．サーモカップルは軸受面に一カ所，そのほか軸受断面に7ケ所とし，そのうちの一カ所は測温抵抗体と同じ位置に取付けた．

2.2.2 **実験の方法**　実験（その1）とほぼ同じであるが，軸受表面を40℃から約200℃まで短時間に加熱することとし，その時間を30秒から20分までの4通りを計画した．しかし，実際には後に記載の通り7～8分と20～30分の2通りの実験を行った．また，その取付け孔には潤滑油を充満した場合と何も入れない2通りとした．これらの組み合わせについて表2に示す．

2.2.3 **実験結果**　プロパンガスバーナーで軸受メタル表面を急激に加熱し，当初計画の30秒で約200℃にすることは，メタル表面が溶けだし，実際には不可能であった．何回かの実験の後，ようやく，この時間を7分程度とすれば計測可能であることが分かったので，これを最短の時間とし，そのほかに25分程度の実験を行った．実験の結果を図9～12に示す．いずれも加熱開始から表面温度（センサー①）が約200℃に至るまでの各センサーの表示温度の推移を示す．

3. 実験結果の考察

3.1 実験（その1）に関して

(1) 全体的傾向　図3～6から全体的傾向を見ると次のようである．加熱開始時は測温抵抗体，サーモカップルとも同一温度であるが，温度上昇とともに表示温度

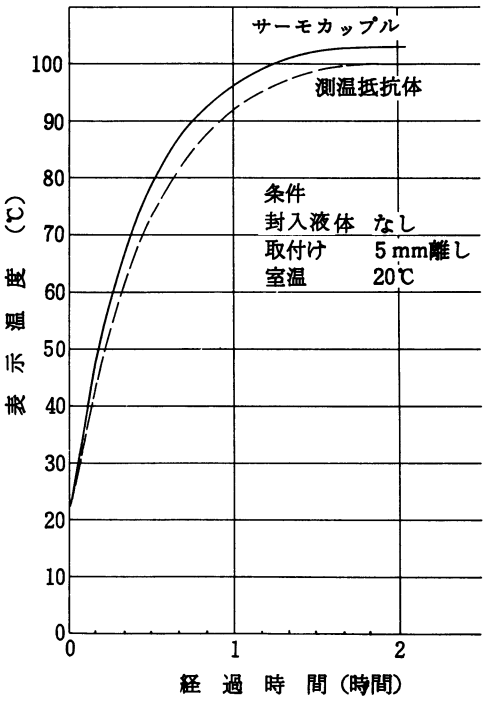


図6　測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化
（実験その1，条件1－4）

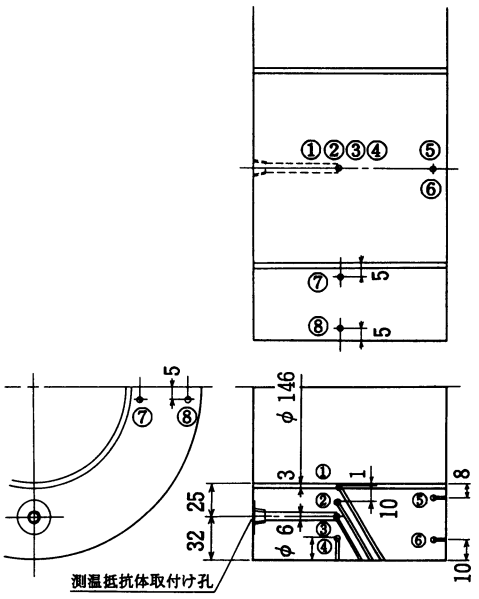


図8　測温抵抗体とサーモカップルの取付け位置
（実験その2）

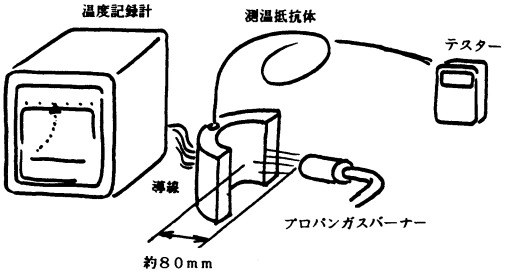


図7　実験装置の配置
（実験その2）

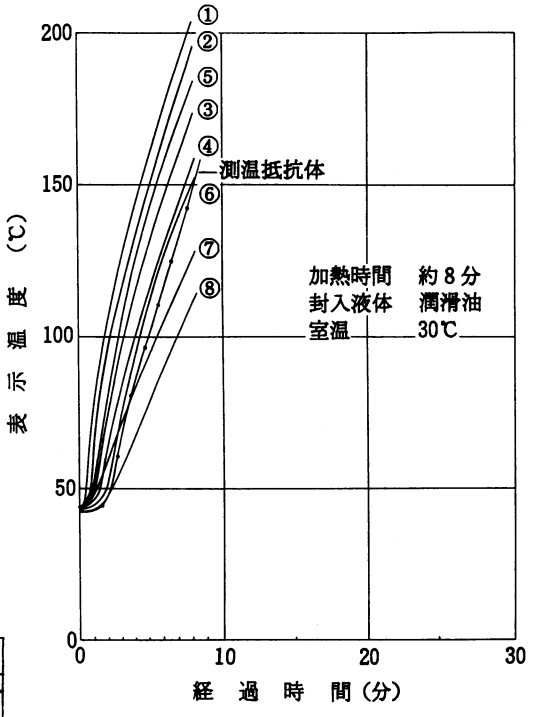


図9　測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化
（実験その2，条件2－1）

表2．実験条件の種類（実験その2）

条件番号	2－1	2－2	2－3	2－4
200℃までの加熱時間	約8分	約7分	約29分	約22分
封入物	潤滑油	なし	潤滑油	なし

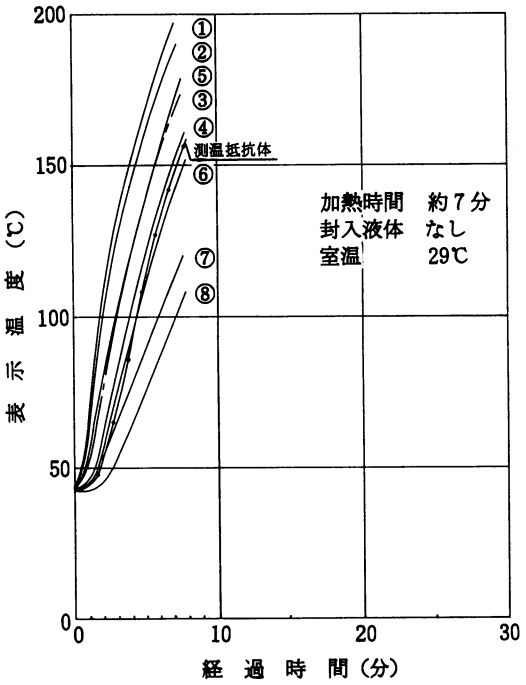


図10 測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化
（実験その2，条件2－2）

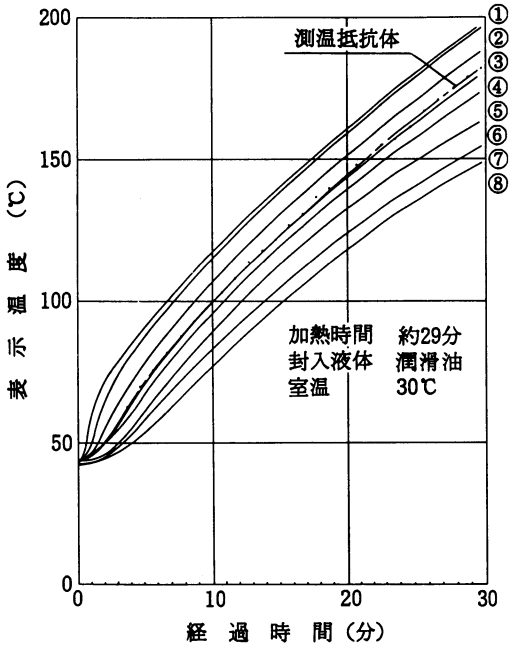


図11 測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化
（実験その2，条件2－3）

に差が生じ，測温抵抗体の方が低い値を示す．測温抵抗体は同一温度をある時間遅れて示す結果となっている．

この傾向はどの実験条件の場合も同じである．

(2) 温度差の推移　図13は各時間におけるサーモカップルと測温抵抗体の温度表示の差をプロットしたものである．潤滑油封入の有無，測温抵抗体感温部先端を接触させた場合と5mm離した場合についてプロットしているが，4ケースとも傾向は同じである．最初，温度差の増加が大きくピークがあり，その後次第に小さくなり一定となる．図3～6の温度上昇の傾向と対応させて

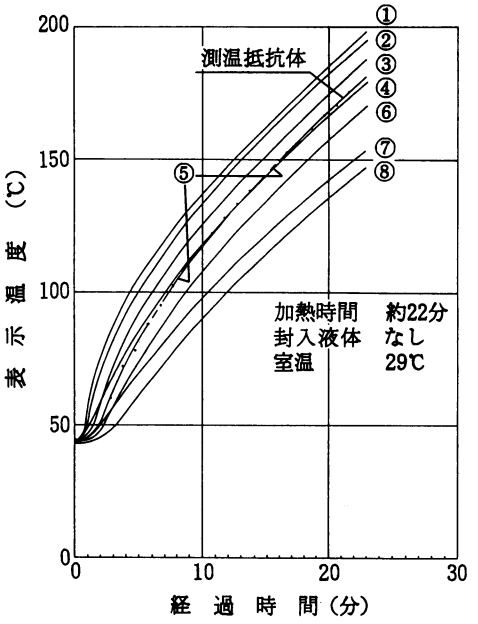


図12 測温抵抗体とサーモカップルの表示温度変化
（実験その2，条件2－4）

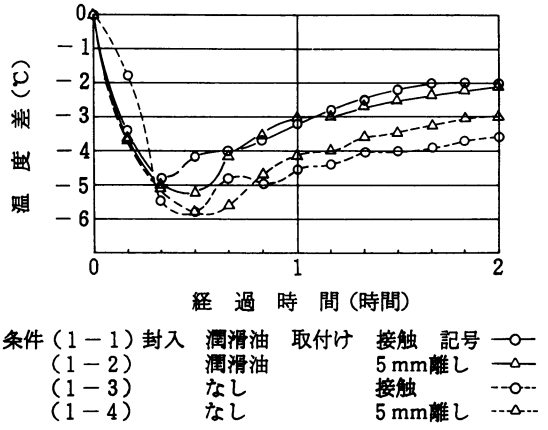


図13 サーモカップル温度に対する
測温抵抗体表示温度の差
（実験その1）

見ると温度上昇が急な範囲で差が大きく，緩やかになると差は小さくなっていることが分かる．

(3) 時間遅れの推移　図14は測温抵抗体がサーモカップルと同じ温度になる遅れ時間を各温度についてプロットしたもので，上記の温度差の場合と同様，4ケースについてプロットしている．時間遅れは温度上昇とともに大きくなる傾向にある．100℃付近では非常に大きな値となっているが，これはこの付近では温度の上昇勾配が殆ど0の範囲であり過渡状態ではないためである．

(4) 取付け孔への潤滑油封入の効果　図13，14において実線が潤滑油封入あり，点線が封入なしを示している．これによれば封入した方が封入なしに較べ，温度差で1～1.5℃少なく，時間遅れでは，温度上昇勾配が緩やかになる90℃付近で3分程度少ない結果となっており，多少の効果はあると判断される．

(5) 測温抵抗体感温部先端の取付方法の差の影響

図13，14において測温抵抗体先端を接触させた場合を○印，5mm離した場合を△印で示しているが，両者に差は殆ど無い．

(6) 温度差あるいは時間遅れが生じる理由　図15は測温抵抗体センサー単体での応答特性を示す（カタログからの抜粋）．今回の実験に使用したのはPTR－M4.8である．本特性は0℃に冷やしたセンサーを100℃の水に入れた時のものであるが，時間遅れは20秒程度であり100℃に対する温度差はない．本実験結果では図13のように潤滑油を封入し，孔の底に接触させた場合でもサーモカップルとの間に温度差があり，遅れもある．これは次の理由によるものと考えられる．

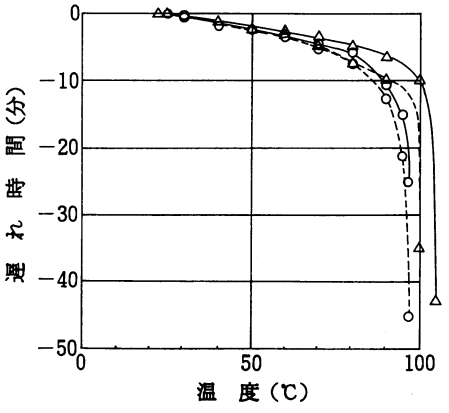
(1) サーモカップルと同一の位置とはいえ図2のように測温抵抗体感温部はサーモカッルプルより形状が大きいので表面から離れる．

(2) 測温抵抗体感温部は図16のような構造であるため，ある大きさの範囲で温度を拾う．

3.2 実験（その2）に関して

(1) 全体的傾向　図9～12から分かるように2回目の実験は最初の実験と異なり200℃安定となるまでの加熱でなく，表面が200℃になったところで加熱をストップする方法をとっており，全範囲において過渡状態のものである．サーモカップル①はバーナー正面で軸受表面，②③④がその位置で番号の順に深く，⑤⑥は軸方向の端で表面近くと深いところ，⑦⑧は周方向の端で表面近くと深いところに取付けられている．サーモカップル①との表示の差が位置による差ということであるが，加熱開始時はいずれも同一温度であったのが，温度上昇とともに①との差が開いており，位置の影響が大きいことが分かる．測温抵抗体とサーモカップル③とは同じ位置に取付けられているが，測温抵抗体の方が③より低い結果となっている．それは前項（6）で述べたと同理由によるものと考えられる．図9，10は7～8分，図11～12が22～29分での加熱であるが上記の様子は両者に共通である．

(2) 温度差の推移　図17にサーモカップル①との温度差の推移を示す．測温抵抗体については潤滑油封入ありの場合をプロットしている．加熱開始とともに温度差が大きくなりしばらくしてピークがあり，その後温度差は小さくなるようなパターンとなっている．⑦⑧は他



条件（1－1）封入　潤滑油　取付け　接触　記号 —○—
（1－2）　潤滑油　5mm離し —△—
（1－3）　なし　接触 --○--
（1－4）　なし　5mm離し --△--

図14　サーモカップル温度に対する測温抵抗体表示温度の遅れ（実験その1）

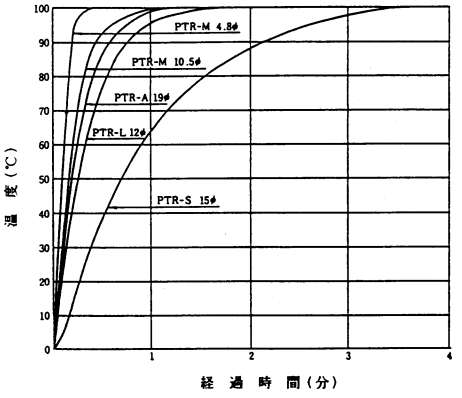


図15　測温抵抗体の応答特性

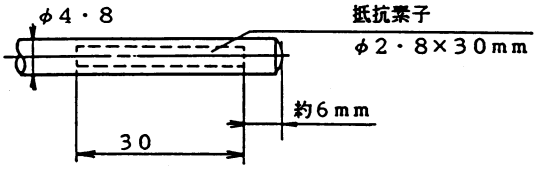


図16　測温抵抗体感温部の構造

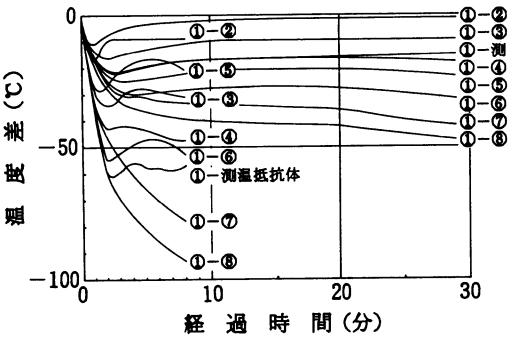


図17 サーモカップル①との温度差の推移
(実験その2)

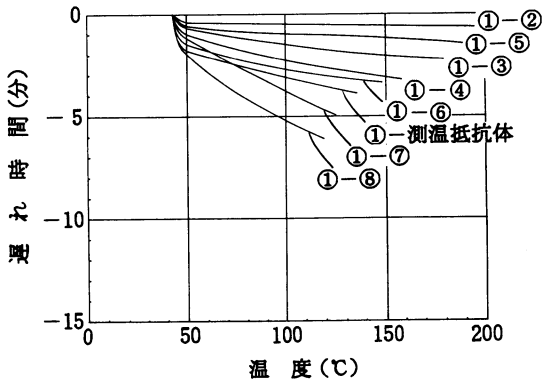


図18 サーモカップル①との時間遅れの推移
(実験その2，条件2－1)

と較べてパターンが異なっているがこれはバーナーからの熱を斜めに受けているため受熱の様相が異なるためと思われる．9分加熱と8分加熱を同じ図にプロットしているが，8分の場合の温度差が大きい．これから加熱速度の影響が大きいことが分かる．

(3) 時間遅れの推移　図18，19にサーモカップル①に対する各位置の表示温度の時間遅れを示す．測温抵抗体については温度差の場合と同様潤滑油封入ありの場合をプロットした．温度が高くなるにつれ，遅れは大となっている．図9，11を見ると温度が高くなるにつれ，温度上昇は緩やかになっている．遅れと温度上昇速度には相関関係があり，温度上昇が緩やかになると遅れは大きくなる傾向にある．図18は8分加熱，図19は29分加熱を示すが，29分の方が遅れが大きく，この結果からも加熱速度が小さいと時間遅れが大きくなる傾向にあり，温度上昇速度の影響が大きいことが分かる．

(4) 取付け孔への潤滑油封入の効果　測温抵抗体感温部とサーモカップル③は同位置である．図20はサーモカップル③との温度差の推移を示す．実線が封入あり，点線が封入なしであるが殆ど差は無い．図21はサーモカップル③との時間遅れを示す．温度差の場合と同様，実線が封入あり，点線が封入なしである．潤滑油封入の方が遅れが大きく，また短時間加熱の方がその傾向が大きい．潤滑油があるとそれに熱が奪われるためと推定される．このような傾向はあるが封入物の有無の影響は少ない．

(5) 取付け位置の影響　サーモカップル①②③④はバーナー正面，⑤⑥は軸端，⑦⑧は周端に位置している．

表示温度の一番高い①との温度差あるいは時間遅れが図17，18，19に示されているが，温度差，時間遅れともバーナー正面，軸端，周端の順に大きくなっている．これには最高温度の①位置からの距離の他に，前にも触れたようにバーナーから熱を受ける角度による受熱量の大小も大きく関係している．各位置における深さ方向に着

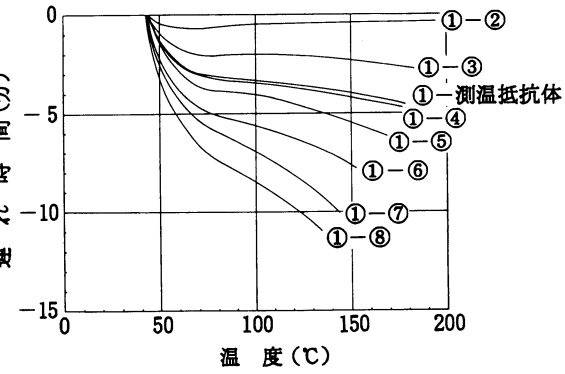


図19 サーモカップル①との時間遅れの推移
(実験その2，条件2－3)

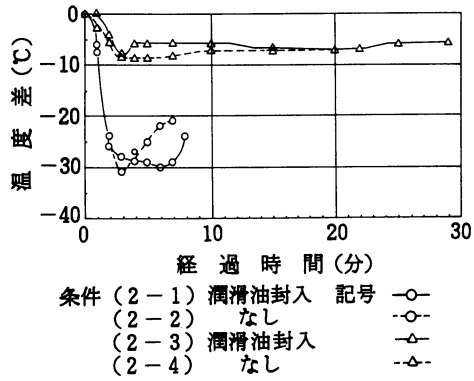
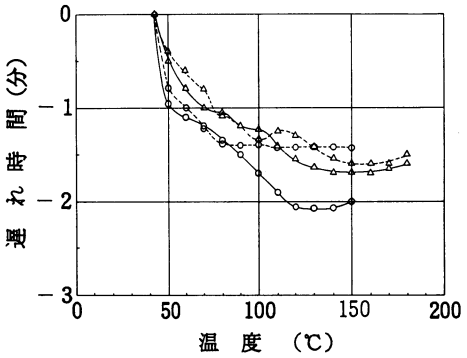


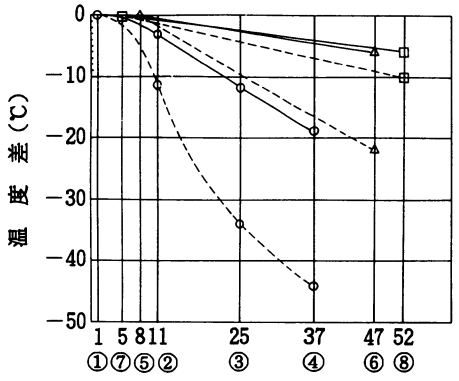
図20 サーモカップル③と測温抵抗体との
温度差の推移 (実験その2)

目して，位置の影響を整理したのが図22，23である．図22はバーナー正面，軸端，周端各位置において表面近くのセンサーとの温度差をプロットしたものである．



条件（2－1）潤滑油封入　記号　—○—
（2－2）　なし　-○-
（2－3）潤滑油封入　—△—
（2－4）　なし　-△-

図21　サーモカップル③と測温抵抗体との温度遅れの推移　（実験その2）

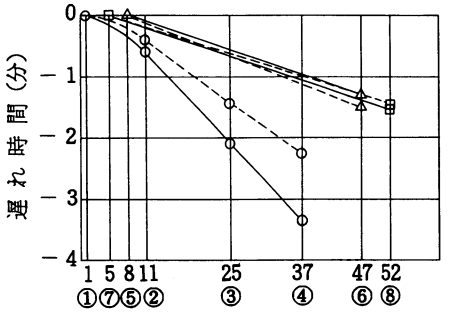


サーモカップル取付け位置（mm）と番号
記号　○バーナー正面
△軸方向端　実線；29分加熱
□周方向端　点線；8分加熱

図22　半径方向位置における温度差

サーモカップル①が100℃の時の値について，バーナー正面では①との差，軸端では⑤との差，周端では⑦との差を記載した．実線が29分，点線が8分加熱である．温度差はバーナー正面側が最大であり，軸端，周端の順に小さくなっている．これは表面付近温度が①，⑤，⑦の順に低くなっていることに対応している．温度が低いと位置の差も少なくなる傾向にあるといえる．また，どの位置も29分より8分の方が差が大きいが，これは加熱速度が大きいと差も大きいことを示している．

図23は同様に時間遅れを示す．100℃に至るまでの時間遅れを示しているが温度差と同じ傾向でバーナー正面側が最大で軸端，周端の順に小さくなっており表面付近温度の順に対応している．温度が低いと位置の差は少なくなる傾向にあるといえる．29分と8分の関係は，軸端，周端はほぼ同じであるが正面位置は加熱速度が大きいと時間遅れが小さくなる傾向を示している．



サーモカップル取付け位置（mm）と番号
記号　○バーナー正面　実線；29分加熱
△軸方向端　点線；8分加熱
□周方向端

図23　半径方向位置における時間遅れ

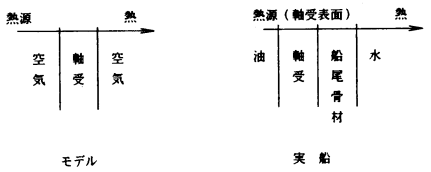


図24　実験と実船との伝熱条件の相違

3.3　実験と実船の関連

図24に実験と実船の伝熱条件の相違を示す．受熱の面では実験は主としてバーナーからの輻射であり，実船の場合は熱源は軸受面の摩擦熱あるいは潤滑油である．放熱の面では，実験は軸受の背面は空気であり，室温の空気へ直接放熱している．

実船は，軸受の周りには軸受より相当に厚い船尾骨材があり，その周りは海水であり，熱伝導の良い軸方向に広がりのある鋼材を介しての水への放熱である．このように実験と実船では受熱，放熱条件に大きな相違があるので，実験結果をそのまま実船に結び付けることは出来ないが，軸受の表面から熱を受け，軸受の半径方向に熱を伝え放熱するという基本的な熱伝達経路は同じなので，実験結果の定性は実船に結び付けても無理はないと思われる．

4.　実船の状況

船尾管軸受の温度センサーの取付け要領と実船における計測値の実情を把握するために，当委員会に参加している各造船所（10社）にアンケート調査を行った．計測値については最近5年間の各種1例ずつデータを提供願

表3．船尾管軸受温度センサーに関するアンケート調査結果
（温度センサー取付けと温度実測値）

A～Jは回答船の整理記号を示す

	A	B	C－1	C－2	C－3	D－1	D－2	E	F	G	H	I	J
定格 主機出力×回転数	31830 ps x 83 rpm	17140 KW x 76 rpm	111470 ps x 101 rpm	8000 ps x 94 rpm	12600 ps x 89 rpm	8420 ps x 97.2 rpm	14200 ps x 103 rpm	9800 ps x 81 rpm	24180 ps x 74 rpm	19650 ps x 65 rpm	9330 ps x 76 rpm	27230 ps x 64.6 rpm	12900 ps x 88rpm90%
プロペラ軸径 (mm)	750	890	540	460	535	500	530	730	800	725	550	795	575
船尾側軸受 正味軸受長さ (mm)	1500	1500	1210	1060	1260	1020	1080	840	1875	1800	1040	1640	1140
平均面圧 (kg/cm²)	6	－	4.05	4.14	4.35	3.05	3.83	5.6	4.85	4.89	4.3	5.7	4.07
温度計形式 (測温抵抗体)	エレメント 固定式	エレメント 交換式	エレメント 固定式	エレメント 交換式	エレメント 交換式	エレメント 交換式	エレメント 交換式	エレメント 固定式	エレメント 交換式	エレメント 交換式	エレメント 交換式	エレメント 固定式	エレメント 交換式
※センサー取付方法 形式	b	a	c	a	a	d	a	c	a	a	d	c	a
※センサー取付方法 軸受面からの深さ (mm)	10.4	7	33	10	10	－	10	－	15.5	10	32.5	15.4	14
※センサー取付方法 円周方向位置	4	5	1	2	8	3	7	9	1	6	1	7	5
取付孔充填剤	なし	グリース	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	－	なし	グリース	－
船尾管軸受 潤滑油循環方式	強制	強制	自然	自然	強制	自然	強制	強制	強制	強制	自然 強制併用	強制	強制
ホワイト材質と厚み	WJ2, 3mm	WJ1, 3mm	WJ7, 4mm	WJ7, 4mm	WJ7, 4mm	WJ2, 3mm	WJ2, 3mm	WJ2, 3mm	WJ7, 4mm	WJ2, 4mm	WJ2, 4mm	WJ2, 4mm	WJ7, 3mm
記録時の喫水 (m)	バラスト	バラスト	試運転状態 DRAFT7.01	同左 DRAFT6.095	同左 DRAFT6.5	バラスト 6.03	満載 12.24	(軸芯上4m) 7.9	満載 －	バラスト －	バラスト －	満載 18.84	満載 －
記録時の プロペラ軸回転数	85 rpm	76.0 rpm	104.4 rpm	97.5 rpm	95 rpm	99.7 rpm	104.2rpm	81 rpm	61～77.5 rpm	64.2 rpm	80 rpm	63.9 rpm	89 rpm
潤滑油温度 循環方式,計測位置	24℃ 強制 クーラ出口	29℃	－	－	－	－	27℃	27℃ 船尾管出口	25～27℃ 同左		20℃ 自然 船尾管出口	－	27℃ 船尾管出口
海水温度 (℃)	20	17	15	22	14	19	22	20	20	16	7.5	24	23
機関室船尾側 (軸室) 室温 (℃)	－	24	22	32	21	25	31	27	21～25	26	26 (主機上段)	30	27
軸受温度 (℃)	30	30～33	29	33	右60° 30 直下 27	35	34	31	28～31	右59° 25.3 左下 27.8	28	N01,35 N02,32	33
軸受温度と海水の温度差 (℃)	10	13～16	14	11	右60° 16 直下 13	16	12	11	8～11	右59° 9.3 左下 11.8	20.5	N01,11 N02, 8	10

※図２５にセンサー取付方法の各形式の詳細を示す。

い，13例の回答を得た．表3にアンケート結果をとりまとめて示す．回答のあったどの船も温度センサーとしては測温抵抗体が採用されているが，測温抵抗体の形式．その取付け位置と方法，取付け孔への封入液の有無などは各社各様である．センサー取付け方法を大づかみに分類すると図25のa～dのようである．図26は温度計測値をセンサー取付け方法別にプロットしてみたものである．●印は軸受温度そのもの，×印は軸受と海水の温度差を示すが，センサー取付方法との間には有意な傾向は見出せない．軸受温度にはいろいろな要素がからむので，センサー取付方法による差が明確に出ないのであろうが，アンケート回答の計測値は全て安定状態のものであり，温度もそれほど高くないことも，差が明確に出ない理由の一つと考えられる．

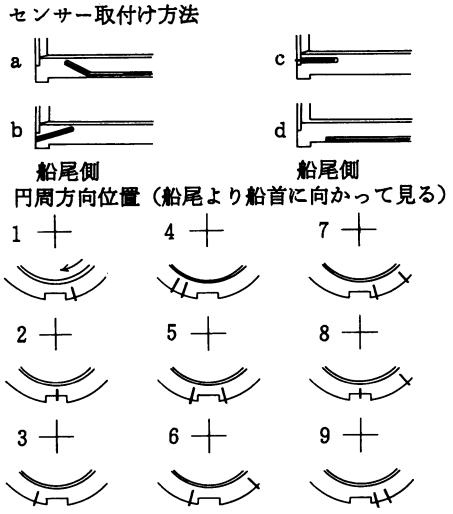


図25　表3に記載の船尾管軸受へのセンサー取付け方法（位置）の説明図

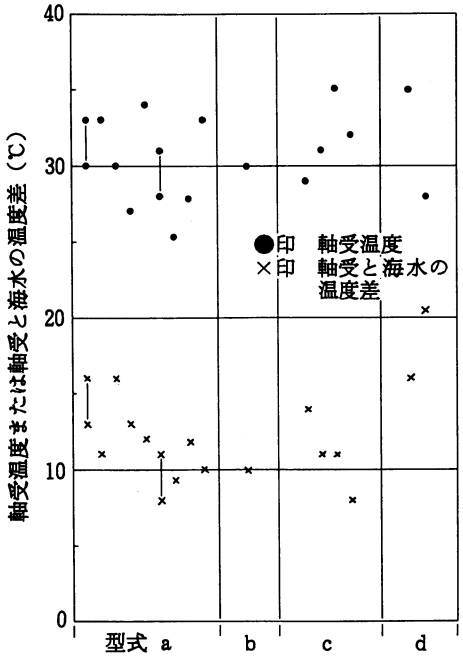


図26　軸受温度および軸受と海水の温度差

5. 温度センサー取付け，温度計測管理上の留意点

実験結果，アンケート結果が示唆するところを討議した．その結果を整理すると次のようである．簡易モデルによる実験ではあるが実験結果から次のことが分かる．

(1) 測温抵抗体の場合，感温温度差，感温遅れがある．

これは測温抵抗体自体の精度によるもので無く，センサーの形状，取付け構造に関係していると思われる．感温温度差は定常状態では小さいが過渡状態で大きくなる．感温遅れは温度上昇速度が大きいほど小さくなる．

(2) 測温抵抗体取付け孔への取付け方法の感温効果への影響　封入物の有無の影響は小さい，また取付け孔底への接触の有無についての影響はほとんど無い．

(3) センサー取付け位置は表面との表示温度差，時間遅れに影響する．表面より離れるほど温度差，時間遅れは大きくなる．この温度差，時間遅れは温度上昇速度に関係しており，温度差は温度上昇が大きいほど大きくなり，時間遅れは逆に小さくなる．

アンケート結果

センサーの形式，取付け方法と計測値の間には有意な相関は見出せない．

これらのことから測温抵抗体温度センサーの取付け，温度計測監視上の留意点を考えてみると，次のようである．

取付け

(1) できるだけ表面に近づける．

(2) 出来るだけ高荷重位置に近づける．

(3) 取付け孔への封入物および孔底への接触の有無は特に気にしなくて良い．

温度監視

(1) 計測温度はセンサー孔先端位置でなく，センサー周りの平均的な温度である．

(2) 計測温度と軸受表面温度の間には温度差があり，時間遅れがある．

(3) 温度差は温度上昇が急なほど大きい．時間遅れは逆に温度上昇が急なほど少ない．

6. あとがき

以上，実験結果，アンケート結果，これらについての考察，討議結果を紹介した．簡易モデルによる実験で実船状態をシミュレートするような十分なデータが得られたとは言えないが，定性はある程度確認出来たと思う．

また．取付け管理上の留意点も整理出来たと考える．関係者の参考になれば幸いである．

（担当者　日本ドーバー（株）桑原恒雄）

文　献

1) 土井・ほか2名，舶機誌3－5（昭43-9),311.
2) 三井・山田，機論，45－390（昭54－2），238.
3) 永田・澤田，舶機誌，13－9（昭53－9），673.
4) 前橋・山倉，舶機講45前刷，(平元－10)，99.