海水使用銅合金熱交換器抜管調査の過去、現在、未来

川 辺 允 志*

* 株式会社関西テクノカンパニー

The Past, Present and Future on a Picked-out-tests on Copper-alloy Tube from a Heat Exchanger

Atsushi Kawabe*

* Kansai Techno Co.

At first history of the picked out condenser tubes test is considered. Then the present states and problems are described. Finally modifications on the picked out copper alloy tube tests and specification on a picked out copper alloy tube test are proposed as follows: 1) Determination of causes on the corrosions. 2) Recommendation of countermeasures. 3) Assessment of fouling resistance. 4) Discussion on compatibility between corrosion control and fouling control. 5) Examination charts of EDIO.

Key words : seawater, copper alloy tube, picked out tube test, corrosion

1. 緒 言

コンサルタント業務においては発注者の意向が大勢を決めることになる。特に日本では前例を無視することは困難であり、過去に引きずられることが多い。ここでは主として復水器管の過去の腐食原因調査が、いかに現在を規定しているかを述べ、今後のあり方を提案したい。

2. 復水器管抜管調査の過去

2.1 発注者側の意識

1956 年頃、河海水使用の火力発電所のアルミニウム黄銅復水器管が頻繁に漏洩した（汚染水腐食¹⁾ だが当時は不明）が、発注者側は漏洩管を分析して、19 種類のアルミニウム黄銅管のどれであるかを確定した。このことから、漏洩原因が材質にあると考えられていたということが出来る。

1956 年運開の清浄海水使用の多奈川発電所の輸入アルミニウム黄銅管の異常潰食（塩素処理下の Mn による異常潰食²⁾ だが当時は不明）はついに 1960 年 1 月 3 日に 30 数本の漏洩に至った。

2.2 受注者側のスタンス

受注者側としては、原因究明のため、考えられる限りの実施可能な分析を行いデータの蓄積をはかった。

1959 年の分析項目の例を挙げると次の通り。肉眼観察、断面写真、断面組織写真、管材成分、引張り試験、偏平、押広げ試験、残留内応力³⁾。

これらの項目から、腐食原因を管材そのものに求めようとしていることが分かる。

その後、付着物の成分、付着物の X 線回折、赤外線吸収スペクトル、付着物断面元素分布（X 線マイクロ分

析⁴⁾ が加わり、上記の腐食原因が疫学的に決定される⁵⁾ 1975 年まで、データの蓄積は必須であった。

この間抜管調査はメーカーが実施し、無償であった。

3. 海水使用銅合金管の抜管調査の現在

3.1 受注者側のスタンス

その後、原因不明の腐食はなくなったが、分析項目は赤外を除いて踏襲されてきた。

メーカーもデータは充分蓄積し、新しい種類の腐食も発生しないし、抜管調査の必要がなくなってきた。

3.2 発注者側のスタンス

発注者としては、腐食は継続してみられることから、抜管調査は引き続いて必要と考え、有償で実施するようになり、メーカーへ引き続いて発注していたが、社内の情勢から競争入札となった。

分析項目は日本の特性で前例通りとなった。項目ごとに費用を積算することになり、過去にメーカーが分析結果に基づいて考察していた腐食原因調査や対策のリコメンは費用に入らなくなり、極端な場合には腐食原因や対策のリコメンは必要ないということになった。

3.3 受注者側の対応

発注者側の分析重視、コンサルタント軽視の結果、分析を業務としている受注者が優位となり、コンサルタント主体で、分析は必要に応じて外注している受注者は、腐食原因は肉眼検査だけで判定できても、仕様書の分析を実施せざるをえなくなり、EPMA などの高額な検査項目を積算からはずさないと受注できなくなった。

3.4 発注者側の問題点

1) 塩素も公害防止協定での許容限度一杯実施し、海水と接するあらゆるところに防汚塗装し、鉄も注入し（その中身が重要だが、それは不問に付し）、電気防食も実施し（その中身が重要だが、それは不問に付し）、実施

* 〒590-0105 堺市南区竹城台 3-10-3 (3-10-3, Takeshirodai, Minamiku, Sakai, 590-0105 Japan)

できることはすべて実施しているとし、それ故、腐食原因は不可抗力であったということを望み、間違っただけを記載した報告でも、不可抗力であるのが一番よいのである。

2) 引抜管がたまたま置いてあり、見てみると、報告書記載の固形物閉塞によるエロージョン・コロージョン⁶⁾ではなく、フジツボ付着下の汚染水腐食に起因するエロージョン・コロージョン⁷⁾であった。対策としては、前者なら大型付着生物の成体の管への流入防止、後者なら着生期幼生の管への着生防止と、全く違うことになるが、「所長まで固形物閉塞によるエロージョン・コロージョンと報告しているので、いまさら腐食原因が違うといわないでくれ」といわれた。

3) 発注者の知識レベルが低い。

例1： 発電所首脳が「チタンがデポジットアタックで漏洩した」といった。

例2： ブローして大気に接触させるだけで分極抵抗は上昇する⁸⁾のに、管板に障子紙を張って管の底部に残留している水分を吸わせる。

4) 報告書の技術評価ができない。そこで、間違っただけの原因記載の報告が大手を振ってまかり通ることになり、安かろう悪かろうがはびこっている（なかには高かろう悪かろうもあるが）。

5) 技術がちゃんと伝承されず、聞きかじりで、枝葉だけを伝承している。

例1： 付着物採取に50コのコランダムボールを使用しても保護皮膜が良好である $2 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}^2$ の分極抵抗⁹⁾を保持している管¹⁰⁾に対し、5コだけの使用も許可しない。

例2： 電気防食の容量不足で異種金属接触腐食が生じ¹¹⁾、その対策に管板に塗装した¹¹⁾。その後、電気防食の容量を増加させたにもかかわらず、電気防食が役に立たないので撤去しようと思っている。

6) 発注者が管のメーカを知らないケースや商品名を一般名と勘違いしている。熱交換器の場合、熱交換器メーカに原因調査をだして失敗しているケースが多い。このことは復水器管でも見られる。

3.5 受注者側の問題点

1) 腐食の知識がないのに分析ができることで受注する。

例： 腐食原因は「電気化学的反応」であるとして、具体的な原因を記載していない。

2) 銅合金の腐食の知識が極めて浅い。

例1： 局部腐食をすべて「デポジットアタック」としている。

例2： 付着物の分析で全Sを分析して汚染水腐食を云々しているが、汚染水腐食に関与するのは SO_4^{2-} を含んだ全Sではなく、硫化物としてのSである¹²⁾。

例3： 報告書の断面組織写真に明確に粒界腐食がみられる¹⁾のに汚染水腐食としていない。

例4： 付着物の成分分析結果で明らかに硫化物が存在するのに汚染水腐食に触れていない。

例5： 写真をみると付着物は黒色を呈し、硫化物の存在が濃厚¹⁾なのに汚染水腐食に触れていない。

3) 鉄の腐食を銅に適用している。

例1： いわゆるデポジットアタックの発生メカニズムを濃淡電池とするタービンメーカや少なくとも2人の識者からヒヤリングを受けても銅合金に酸素濃淡電池による腐食が発生するという考えを変えない研究所¹²⁾がある。海水中では銅合金にすぎず腐食が発生しないことは報告済みである¹³⁾。

例2： 炭酸カルシウム付着部がアノード、その他の部分がカソードとなった酸素濃淡電池による腐食としている。(炭素鋼でも炭酸カルシウムは保護皮膜となる。)

例3： 実機の銅合金を模擬した浸漬試験において材料を研磨しているが、銅合金では製造時に材料の表面に酸化皮膜が形成されており、それが浸漬初期保護皮膜の働きをしているので、研磨すると腐食速度は10倍大きくなり¹⁴⁾、実機を模擬したことにならない。それ故銅合金の試験では製造のままの管を用いる⁸⁾ことを知らない。表1¹⁵⁾に製造のままの管と酸洗した管との局部腐食発生状況を示す。後者の方が激しい腐食をうけることが分かる。

表1 アルミニウム黄銅管局部腐食発生状況(149日間)

試験条件	鉄注入	×	×	×	×
	塩素処理	○	○	×	×
	SB洗浄	×	○	×	○
試料	A9：製造のまま	4	0	4	2
	A10：酸洗浄	2	0	3	1

0：激しい潰食、肉べり 1：全面腐食、深いスジ状潰食、大型孔食散在 2：全面スジ状孔食密在、肌あれ大、微小孔食密在 3：肌あれ小、微小孔食散在 4：健全

例4： 銅屋がみれば、見ただけで汚染水腐食とわかるのに、XPS分析、自然腐食電位の経時変化および陰分極曲線など膨大な試験を経て同じ結論にたどりついている。

4) 一部の管メーカ関係腐食調査員のレベル低下

例1： 報告書の写真を見ただけで塩素処理下のMnによる異常潰食とわかるのに記していない。

例2： 一見して腐食原因が明白な腐食に対して安易に原因不明ですましている。

5) 腐食防食専門士の在籍している会社の例

清浄海水にも1~10コ/mlの硫酸塩還元菌は現存している¹⁶⁾にもかかわらず、腐食原因をそれにもっていつているが、汚染水腐食は発生していない。まず最初に浮かぶ問題点として、腐食原因調査が腐食防食専門士を通るような社内システムであるのでしょうか(同じ間違いは水処理会社にもあった)。

6) 過去の腐食事例を勉強していない。

例1： 「不連続な曲線の組合せで構成されている潰食が見られ、潰食が多段階で進行していると考えられる¹⁷⁾」としているが、図1に示すようにモデルコンデンサで人工異物下流で1段階でも不連続な曲線の組合せが生じることは1970年に報告されている¹⁸⁾。

固形物閉塞によるエロージョン・コロージョン

図1 1段階で発生した固形物閉塞によるエロージョン・コロージョン（美浜モデルコンデンサ，2 m/s，木片，1966. 12. 16-1967. 8. 8）。

図2 SS発電所における約380時間での固形物閉塞によるエロージョン・コロージョン漏洩。

により「1段階で貫通に至ったものは確認されなかった¹⁷⁾」としているが、図2に示すように1段階で380時間で貫通したことが1968年に発表されている¹⁹⁾。

1段階で貫通に至らず、2段階で貫通に至るという間違った腐食プロセスに立つと、対策が間違ふことになる。ちょっとでも潰食をうけている管は施栓しなければならなくなる。実際には異物を除去して鉄皮膜で潰食部を覆えばそれ以上腐食は進行しないので施栓の必要はないのである。

例2：「多量の大型付着生物が付着していたが、いわゆるデポジットアタックは発生していなかった¹⁷⁾」としているが、付着物には Fe_2O_3 として38%以上存在し、 $6 \times 10^4 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上の分極抵抗を示す良好な鉄皮膜が存在しており¹⁷⁾、鉄注入下では付着生物の閉塞率が断面の4割以下であれば、いかに多量であっても、いわゆるデポジットアタックは発生しないことは1986年に報告されている²⁰⁾。それ故、大型付着生物が断面の4割以上占めていたのに腐食していないのかどうか調査内容のポイントであるのにそれを計測していない。

例3：銅の溶解速度はカソード反応で律速されるとして、酸素の拡散係数に比例する¹⁷⁾としているが、

図3 一時的汚染水におけるフジツボ類着生期幼生キブリスの消失。

アルブラックの3%食塩水中の腐食は限界拡散時の1桁以上小さく、しかも6 m/s以上の流速においては流速の影響はなくなる¹⁴⁾。したがって高流速ほど境界膜は薄くなるが「溶出速度は流れにより境界膜が薄くなることで加速される¹⁷⁾」とは一概にはいえない。

7) 最近の研究結果を吸収していない

例：フジツボ直下の粒界腐食跡に発生したエロージョン・コロージョンは2001年に報告されている¹²⁾のに、異物閉塞によるいわゆるデポジットアタックと報告されているケースがあちこちで見られる。

8) 海生生物の知識が間違っている

例：「特に汚染海水環境では、…海洋生物などの付着などに起因するデポジット・アタックなどのエロージョン・コロージョンを受ける場合がある¹²⁾」としているが、汚染海水²¹⁾では図3に示すように付着生物の着生期幼生も存在せず、海洋生物の付着も生じない。

4. 海水使用銅合金管拔管腐食原因調査技術の現在

海水使用銅合金管の腐食は出つくし、腐食原因もすべて確定できる段階にきている。「海水通水下の銅合金の腐食原因調査は、「餅屋は餅屋」のたとえどおり、「銅屋」に実物、実物がなければ色が良く再現された写真を見せるだけで、その場で腐食の内の2/3は原因が判明し、再発防止のための的確な対策も即時に立てられる。しかし、今まで「腐食屋」に調べてもらっても「原因不明」だったのにと、お客様が狐につままれたようであれば、お客様を納得させるために分析を行ってデータをつけざるをえないのである²²⁾。特に汚染水腐食は簡単で、見た瞬間に判定できるのが多く、断面組織があれば鬼に金棒であり、XPSも自然電位の経時変化も分極曲線も必要ない。

残りの1/3も付着物を注意深く削りとりながら観察し、金属面を必要に応じて酸洗浄して腐食部を観察し、付着物を分析し、断面写真を見ることで腐食原因を決定できるのがほとんどである。

腐食原因を確定できれば、過去のモデルコンデンサでの結果と実機での実績から対策を容易に策定できる。

エロージョン・コロージョンについては、対策策定上、

エロージョンを発生させた原因が特定されないことには、流速低下か、材質変更か、いずれにしても現実離れをした対策しか提示できない。コンサルタントとしては、エロージョンを発生させた原因を明示しなければならない。電気防食の不足¹¹⁾か、犠牲陽極が絶縁されてた¹¹⁾のか、固形物閉塞⁶⁾か振動型異物⁶⁾か、擦過傷（流入異物²³⁾か、掃除具⁶⁾か、異物のプラシへの噛みこみ⁶⁾か）か、汚染水腐食部か、フジツボ直下⁷⁾か、スポンジボール過剰洗浄¹⁶⁾か、漂砂²⁴⁾か、マンガンに富む付着物²⁵⁾の剥離部かを決定することによって実施可能で再発防止可能な対策が策定できるので、これらのいずれであるかを明示ないし示唆することは可能である。

ここまで原因を確定して対策を策定すれば、過去のモデルコンデンサでの結果と実機での実績から対策の効果を評価できる。従って、現在の運転条件を維持しながら、エロージョン・コロージョンを防止することができる。例えば、腐食例の多い固形物閉塞によるエロージョン・コロージョンであれば、固形物の流入防止であり、マッセルフィルタの導入により大幅に減少した²⁶⁾し、フジツボ直下の粒界腐食跡に発生したエロージョン・コロージョンであれば、管内流速を低下させず²⁷⁾、万一低下したときにはスポンジボール洗浄を実施する²⁸⁾。

腐食深さが次の定検までに、ある深さに達すると予想される管には施栓しなければならないので、次回定検までの腐食深さの進行を予測する必要がある。それには、現在の腐食が古傷で良質の保護皮膜で覆われているのか、現在も進行中であるのかを判定することが肝要である。

しかし、腐食原因報告書の現実はどうか。筆者が昨秋から手がけた5件の腐食は、すべて原因が間違っており、腐食原因の訂正に明け暮れ、啞然としてしまった。原因が間違っているということは、対策も間違っており、腐食を再発させることになる。

こうした間違いを起こさせないようにするにはどうしたらよいか緊急の問題である。

5. 海水使用銅合金管抜管調査の未来

発注者側、受注者側ともに知識のレベルアップ、知見の正しい伝承が必要である。電気化学会海生生物汚損対策懇談会では腐食原因と対策の講習会を毎年実施しているが参加者が少ない。

腐食と対策の本も電気化学会海生生物汚損対策懇談会で編集して出版していただいた^{29), 30)}し、データブックも筆者が中心になって編集した³¹⁾。

しかし、海水の銅合金の腐食についての知識がないから、勉強しなければならないということを自覚させるにはどうしたらいいのか？ 鉄屋に銅は違うということを認識させる手立ては？

講習会へ参加してもらうには、本を買ってもらうてでは？

抜管の調査は腐食の再発を防止するために実施するのであり、そのためには原因を明確にしないことには対策のたてようがないのである。したがって抜管調査は原因と対策の提示への評価として支払われるべきもので、データのチャートや写真の量に対して支払うべきものでは

ない。おかしな原因を記す報告書ほどチャート等が多い。

ということは、原因調査レベルの低さをチャートでカバーしようとしているのであり、それを逆にとり、抜管調査の仕様を「腐食原因の確定と対策の策定」のみとし、分析項目は仕様に入らず、分析項目は受注者が必要に応じて実施することになると、発注者、受注者ともにコストの節減にもなる。そこで、こうした状況を踏まえた抜管調査仕様書の試案を章末に提案する。

費用は報告書提出段階で、たとえば2/3とし、残額は「対策」によって腐食の再発防止が図れた段階とするのも、コンサルタント重視の手段の一つであろう。

復水器管の抜管調査では伝熱性能も測定するが、そのデータが有効に利用される例は少ない。といっても、定検がとつくと終わってから報告書がでてくるケースもあり、そういうことでは有効利用したくともできない。

発電コストのさらなる低減には復水器管の汚れの抑制が最重要のテーマであり、今後は伝熱性能向上策のコンサルタントも目指すべきである。

燃料費は復水器の真空度（飽和温度が分れば、蒸気表から求まる）に反比例する³²⁾が、飽和温度は伝熱性能測定結果から次式³³⁾で求められる。

$$T_s = T_i + \frac{T_o - T_i}{1 - \exp\left(-\frac{CF \times K_{HEI} \times \pi D_o}{c_p \times G} L\right)}$$

ここで、 T_s ：飽和温度、 T_i ：冷却水入口温度、 T_o ：冷却水出口温度、 CF ：管清浄度、 $CF = K/K_{HEI}$ 、 K ：熱貫流率、 K_{HEI} ：新管の熱貫流率、 D_o ：管外径、 L ：管長さ、 c_p ：冷却水比熱、 G ：管1本当り冷却水質量流量。

汚れを、「掃除可能な汚れ」と「掃除不能な汚れ」に分類する³⁴⁾というアイディアは藤井哲雄先生に負うものであるが、掃除前の引抜管の伝熱性能測定後、実機で使用する掃除方法で掃除し、伝熱性能を再測定することで、これらを把握できる。同じ掃除方法を定検ごとに使用していると、残留汚れの硬質化により、「掃除不能な汚れ」が増加していくので、真空度への影響を計算し、あるところで、より強力な掃除方法に変更する根拠にすることができる。

海水使用銅合金管抜管調査仕様書

1. 腐食原因確定

1) 腐食原因を確定すること。やむをえない理由で確定が困難な場合には推定すること。

原因確定に要する分析項目は受注者がその必要に応じて選定すること。

2) 腐食を現在進行中の腐食と現在は進行が停止している腐食とに層別すること。

現在は進行が停止している腐食を進行させないために必要な注意事項があれば記すこと。

3) 過去に発生した腐食が再発する可能性があれば記すこと。

4) 大型付着生物の付着の有無、およびその状況、付着部での汚染水腐食の発生の程度を記すこと。

5) 掃除に伴う擦過傷の発生の有無とその程度を評価し、必要に応じ改善策を策定すること。

[注] エロージョン・コロージョンについてはエロージョンを生じさせた原因を推定すること。

2. 防食対策の策定

- 1) 現在進行中の腐食対策を停止させるに必要な対策を策定すること。
- 2) 過去に発生した腐食を再発させないために必要な対策を策定すること。

3. 伝熱性能の評価と対策の策定

- 1) 現行の掃除方法を評価し、復水器については真空度の向上量を算出すること。
- 2) 現行のスポンジボール洗浄効果を評価すること。スポンジボール洗浄効果の改善策を策定すること。
- 3) 今後とるべき伝熱性能向上策を策定すること。

4. 防食と防汚の両立についての考察

- 1) 保護皮膜を評価すること。
保護皮膜が不十分または悪質の場合には、改善策を策定すること。
- 2) 伝熱性能との兼ね合いにおける防食、防汚管理の改善策を策定すること。

5. 渦流探傷チャートの点検と対策の追加

渦流探傷チャートにおける信号から腐食の種類を推定し、引抜管での腐食以外の腐食の発生の有無とその程度を推定し、対策の策定に加味すること。

6. お わ り に

海水通水下の銅合金の腐食原因は見ただけで決定できるケースが多く、対策もすぐに見付かるが、そのためには過去に経験した事例の蓄積とモデルコンデンサーでの知見、実機での実績を間違わずに適用できる Art (実践知) を有することである。

腐食原因調査にあたっては、腐食防食専門士に長野氏の提唱による「独立コンサルタント」という区分けを適用することも肝要であろう。

最後に、筆者を海水の銅合金腐食コンサルタントへと導いてくださった、能登谷先生、住友軽金属の大津武通氏、田中礼二氏、佐藤史郎氏、永田公二氏、田部善一氏、野瀬溪精氏、山内重徳氏、渥美哲郎氏、神戸製鋼の三村恵輔氏、源堅樹氏、古河電工の西嶋直道氏、山本博司氏をはじめとする各位に深謝します。

参 考 文 献

- 1) Y. Azuma and A. Kawabe, *Denryoku*, **47** [7] 149 (1963).

- 2) A. Kawabe, *Manual on Marine Biofouling Control*, p.169, Gihodo (1991).
- 3) *Report on Condenser Tube at the Tanagawa Power Plant*, Sumitomo Metal (1963).
- 4) *Report on Condenser Tube at the X Power Plant*, Hurukawa Electric (1967).
- 5) S. Sato and M. Okawa, *The Thermal and Nuclear Power*, **26**, 671 (1975).
- 6) A. Kawabe, *The Piping Engineering*, **47** [2] 19 (2005).
- 7) A. Kawabe, *Electrochemistry*, **71**, 681 (2003).
- 8) A. Kawabe, Y. Ikusima, S. Iijima, S. Sato, K. Nagata and S. Yamauchi, *The Thermal and Nuclear Power*, **27**, 569 (1976).
- 9) A. Kawabe, M. Araki, K. Yamakawa and T. Fujii, *OEBALIA*, 277 (1993).
- 10) K. Nagata, K. Sudo, Y. Kato and K. Onda, *Sumitomo Light Metal Report*, **30** [4] 29 (1989).
- 11) A. Kawabe, 43th. Technologie Seminar, JSCE (2007).
- 12) A. Kawabe, *The Thermal and Nuclear Power*, **52**, 509 (2001).
- 13) A. Kawabe, K. Nagata, K. Sudo, Z. Tanabe, R. Kado and J. Kittaka, *Corrosion Engineering*, **37**, 105 (1988).
- 14) Z. Tanabe, Electrochemical Approach to Corrosion of Copper Alloy, Marine Biofouling Control Committee, The Electrochemical Society of Japan (1990).
- 15) A. Kawabe, Y. Ikusima, S. Iijima, S. Sato, K. Nagata and S. Yamauchi, *The Thermal and Nuclear Power*, **29**, 679 (1978).
- 16) T. Tukuda and A. Kawabe, *The Thermal and Nuclear Power*, **25**, 985 (1974).
- 17) A. Kawabe, *The Thermal and Nuclear Power*, **54**, 230 (2003).
- 18) S. Sato and K. Sagisaka, *Sumitomo Light Metal Report*, **11** [2] 1 (1970).
- 19) *Copper Alloy for Heatexchang*, Sumitomo Light Metal (1968).
- 20) A. Kawabe, *Coating Technology*, **21**, 419 (1986).
- 21) Y. Azuma and A. Kawabe, *Denryoku*, **48** [5] 67 (1964).
- 22) A. Kawabe, *The Piping Engineering*, **46** [5] 21 (2004).
- 23) H. Wada, H. Toyonaga, T. Nonaka, Y. Shigematsu, M. Kosio and A. Kawabe, *The Thermal and Nuclear Power*, **49**, 175 (1998).
- 24) A. Kawabe, *Manual on Marine Biofouling Control*, p.167, Gihodo (1991).
- 25) A. Kawabe, *J. of Japan Research Institute for Advanced Copper-Base Material and Technologies*, **47**, 266 (2008).
- 26) K. Nagata, A. Ogiso and S. Sato, *The Thermal and Nuclear Power*, **34**, 1421 (1983).
- 27) A. Kawabe, *Condenser*, p.161, Aichi Publishing (2001).
- 28) A. Kawabe, *Condenser*, p.168, Aichi Publishing (2001).
- 29) *Manual on Marine Biofouling Control*, Gihodo (1991).
- 30) *Condenser*, Aichi Publishing (2001).
- 31) *Handbook on the Condenser and Condenser Tube Control*, The Thermal and Nuclear Power Society (2005).
- 32) A. Kawabe, *The Piping Engineering*, **48** [10] 57 (2005).
- 33) T. Fujii, *Condenser*, p.44, Aichi Publishing (2001).
- 34) *Measurement Method of Fouling of a Tube picked out from a Condenser*, Marine Biofouling Control Committee, The Electrochemical Society of Japan (1988).

(2008年4月2日受理)

要 旨

はじめに引抜復水器管調査の歴史について考察する。次に現状と問題点についてとりまとめる。さらに引抜銅合金管調査の改良点について記し、引抜銅合金管調査仕様書について下記のように提案する。1) 腐食原因の確定 2) 対策の勧告 3) 汚れ熱抵抗の評価 4) 腐食防止と汚れ防止との両立に関する考察 5) 渦流探傷のチャートの検討

キーワード 海水、銅合金、引抜管調査、腐食