

沖縄における機器の冷却

琉球大学 極低温センター
宗本久弥

1. はじめに

当センターは液体窒素(-196)と液体ヘリウム(-269)を製造しているが、その液化機や圧縮機等は大量発熱するので、適切に冷却しないとオーバーヒートしてしまう。冷却方法は空冷か水冷で、水冷は水道水を流し続ける一過式と、クーリングタワーやチラー(Water Chilling Unit)による循環式がある。各方式にはそれぞれ得失があり、効率や経済性、地域特性を充分考慮した上でシステムを選択、設計しなければならない。

沖縄は亜熱帯に位置し、サンゴ礁の隆起した小さな島々からなる。ここでは高温多湿と潮風の塩害による錆が大きな問題となる。当センターでは機器の冷却に関わる様々なトラブルを経験しているが、今回は錆問題を中心に紹介し、対策を検討する。水質、断水等の冷却水事情や、冷却不足、その他については割愛し、機会を改めたい。

2. 冷却に伴い発生するトラブル

内地から当センターへの来訪者は、大学関係者、業者を問わず、機器の錆と湿気に一様に驚く。中でも機器の冷却に絡むものは重症である。空冷はもちろん、循環式的水冷も最終的にはクーリングタワーやチラーが大気と熱交換するので、潮風の影響を強く受ける。まずは被害の大きかった事例をいくつか挙げる。

事例1: クーリングタワーのファンモーター[1]

ヘリウム液化用圧縮機の循環式冷却水のため、クーリングタワーが屋上に設置されている。このファン用モーターは腐食が著しく、筐体が朽ち果てて設置後6年で交換することとなった。<写真1>ではモーター内のコイルが見え、ファンを固定する軸のボルトも傷んでいる。

事例2: チラーの凝縮器

窒素液化用冷凍機の循環式冷却水には、チラーを用いている。これも凝縮器の腐食が激しく、9年目にして冷媒が漏れた(運転中に銅管からフロンが噴出)。銅管の漏洩部はうまく撮影できなかったが、<写真2>でアルミの放熱フィンがボロボロになっている。

ちなみに後述の防錆処理を施したエアコン室外機は、10年経過しても原形を留めている。逆に自動車なども防錆処理しないと、事例1のようにすぐに錆びて穴が空いてしまう。沖縄ではこうした事例が非常に多い。

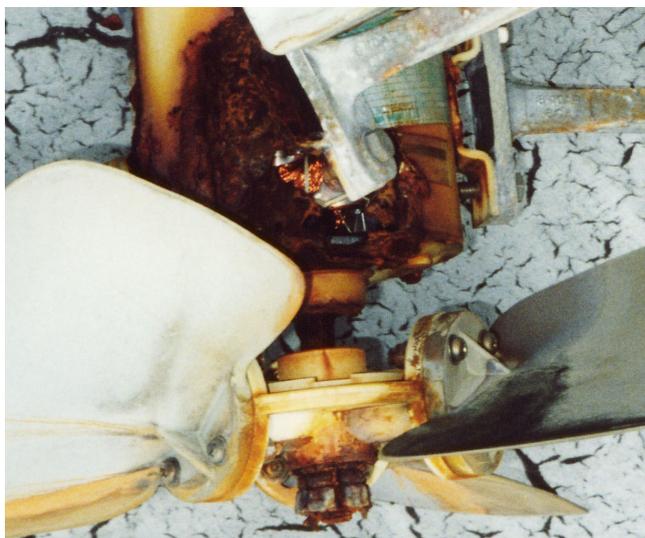


写真 1: 交換のため取り外したモーター

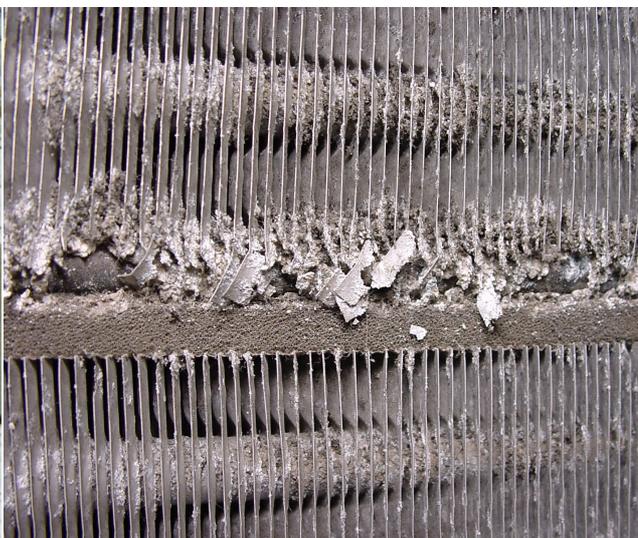


写真 2: 腐食した凝縮器

事例3: 空気圧縮機の冷却油温設定

窒素液化用空気圧縮機(スクリー式、8気圧、空冷、ドイツ製)は冷却油の乳化が著しく、オイルセパレーターカートリッジにべったり付着するという問題があった。湿度が高く空気の圧縮に伴い水分が凝縮するためである。窒素液化システムの納入業者に相談しても、規定時間より早めのカートリッジ交換を勧められるだけであった。しかし圧縮機メーカーの日本人からは、以下の情報が得られた。

- ・冷却油温を上げると水分は凝縮せず水蒸気のまま吐出へ逃げる
- ・温度が高すぎる(100)と冷却油も蒸発してしまう
- ・温度が高いと後段の冷凍式空気乾燥器の負担も増す
- ・したがって湿度に応じた油温設定が必要
- ・油温度調節器(温調弁)は可変式ではなく、仕向地に合わせたものを用いる(表1)
- ・運転温度は温調弁の設定値 + 5 (冬) ~ 10 (夏)

表 1: 空気圧縮機の温調弁

ヨーロッパ仕様	70 ~ 75
北米仕様	80
東南アジア・亜熱帯仕様	85
特別仕様(10気圧以上)	90

当センターに納入されていたものはヨーロッパ仕様だったので、亜熱帯仕様に変更したところ、冷却油の乳化は解消した。

事例4: 空冷で生じる結露

ターボ分子ポンプの電源ユニット(空冷ファン付き)が4年で故障した。そのときのメーカー修理報告書を抜粋する。

1. 故障の状況

「E2」エラー(過電流)で停止、その他不明。

2. 点検結果

- (1)外箱表面が変色して、一部腐食していました。
- (2)基板の一部、部品(可変抵抗、スイッチなど)が変色していました。また、液状の異物が付着した痕跡が認められました。
- (3)その他の回路に異常は認められませんでした。

3. 原因の推定

- (1)基板に付着した異物で回路が誤動作したと考えます。



写真3: エアフィルターマットから滴水

外箱は鉄製で、塗装もメッキもされていない。「液状の異物が付着した痕跡」は、ファンの風により高湿時に塩分を含む結露が生じたものと思われる。残念ながらこの写真は撮ってなかったので、代わりに空気圧縮機吸入口が結露したときの様子を<写真3>に示す。

空調の効いた実験室内で使用する限りこのような結露は心配ないが、寒剤の使用に際しては換気を義務づけているので、外気の流入がある。液化室に至っては吹き抜けで空調もない。

3. 沖縄県の置かれる状況

日本は四方を海に囲まれ、至る所に臨海地域が存在する。そのため湿気や塩害について、沖縄だけが特別とは一般に考えられていない。しかしこれは大変な誤解である。技術的困難よりも、認識の問題が大きい。

3.1 地理的環境

沖縄県は北緯24° ~ 27°に位置し(北回歸線は23.5°)、東西800km余りに渡って広がる小さな島々からなる。琉球大学のある沖縄本島まで、鹿児島から700km、東京から1500kmの距離である。(北方領土最遠の択捉島は東京から1300km、ちなみに日本最南端は東京都小笠原村の沖ノ鳥島、最東端は同じく南鳥島)

沖縄は年間を通じて風が強い。これは当然潮風であるが、そのため夏の最高気温も32°程度で、内陸部のように上昇することはない。一方冬は、最低気温が14°程度で、九州各地の最高気温より高い。湿度は平均で85%という月もある。また海塩粒子の飛来量も地形や風速の影響が大きく、沖縄は不利である。さらに年

平均4回の台風時には、海塩粒子が10～100倍にも増大する。また雨があたらないと付着した塩分が洗い落とされないの、雨よけの屋根や庇は逆効果にもなる。このように、高温多湿と膨大な海塩粒子が腐食の化学反応を促進し、塩害は他地域より激しくなる。[2][3][4]

なお、位置的に近い台湾は島が格段に大きいと、潮風の状況が全く異なり、塩害は少ないようである。

3.2 社会的環境

ここで全国一律の規格や仕様の不備が障害となることがある[2][5]。沖縄の気象条件に合わない仕様でも、それに従わざるを得ず塩害対策できない、あるいは対策費が予算確保されず、結果として修繕に余計な費用がかかることもある。保証期間で業者が責任を負わされることもある。僻み交じりの個人的推測だが、復帰(1972年)以前に策定された仕様には沖縄の特殊事情が考慮されていないだろうし、復帰後でも日本の1%でしかない要求はなかなか反映されないのではと思う。

そして沖縄での実績が乏しい内地業者の認識不足も問題である。一例に琉球大学向けとして提出された液化システム仕様書を抜粋すると、「大気条件:最高温度50、最高湿度85%」「鉄製品については塗装を施工致します」などとなっている。大気条件(湿度)は沖縄の気候に適合しないし、また普通の塗装も沖縄には不十分で、実際この装置は塗装がはげ落ちて錆びている。

3.3 塩害のデータ

そこで、このような認識不足や規格、仕様の不備に対し、防錆対策の指針を打ち出し「沖縄仕様」を確立するため、沖縄金属腐食対策協議会(1983～1993年)が実際のデータ収集を行った。[5]

(社)日本冷凍空調工業会は規格「空調機器の耐塩害試験基準(JRA9002-1991)」[6]を1991年に制定している。その解説には、他地域より厳しい沖縄の条件が示されている(図1)。また冷却以外の分野でも、(社)日本照明器具工業会が「照明器具及び照明用ボールの耐塩害に関するガイド」[7]を1998年に制定している。これを解説した東芝ライテック(株)の「屋外照明器具の耐塩害について」[8]も非常にわかりやすい。これらの規格は程度により「塩害」「重塩害」の2ランクを定めているが、沖縄は全島が塩害地域に含まれ、中でも琉球大学は東に太平洋(2.5km)、西に東シナ海(4.5km)を見晴らす高台(130m)という「絶好」の立地条件にあり、重塩害地域といえる。

(社)日本銅センターの「銅屋根のヒミツ」[9]によれば、沖縄の銅減耗量は東京の約4倍、それでも十分な耐用年数があるとされている。しかしチラーの凝縮器(事例2)は熱と風による加速試験状態であり、また冷媒配管は20気圧程度の耐圧も必要なので、銅屋根に比べ寿命が大幅に短縮してしまう。

ステンレスは塩素に弱く、沖縄ではSUS304、SUS316も腐食する。建築業界では非常に高価な高耐食ステンレスYUS270やチタンが用いられることもある[3]。また溶融亜鉛メッキ上に特殊塗装を施したり[10]、亜鉛にアルミニウムを加えたガルバリウム鋼板も用いられる[4]。ローバル[11]や呉工業のジンクコート[12]といった簡易な亜鉛塗料も作業現場には欠かすことができない。電気防食(Rust Arrester)という技術もある。

空調の室外機で具体的に対策を見てみると、特殊な素材で機器を構成するのではなく、標準品に防錆処理

(4) 設置距離目安 設置環境により条件が変わります。

■直接潮風が当たるところ

	設置距離目安			備考
	300m	500m	1km	
①内海に面する地域	H	L	-	瀬戸内海
②外洋に面する地域	H		L	
③沖縄、離島		H		

H ; 耐重塩害仕様
L ; 耐塩害仕様

■直接潮風が当たらないところ

	設置距離目安			備考
	300m	500m	1km	
①内海に面する地域	L		-	瀬戸内海
②外洋に面する地域	H		L	
③沖縄、離島		H	L	

H ; 耐重塩害仕様
L ; 耐塩害仕様

図1: 「空調機器の耐塩害試験基準」の解説より

を施す形をとっている。ピンホールのできない塗装が重要で、塗膜の密着性や膜厚、硬さ、耐候性などが鍵となる。外装はエポキシ樹脂塗料の下塗と、ポリウレタン樹脂塗料やフッ素樹脂塗料の上塗で120 μ 以上の強靱な塗膜を形成する。内部は自動車床下用と同じワックス系塗料(黒)で保護する。凝縮器には、低粘度で放熱フィンの際間に流れ込み、8 μ の硬質皮膜となり熱交換性を損わない、アクリル系樹脂塗料(青)を用いる。
[13]

5. 実際の対応

家庭用エアコンは「うちなーびけーん」(方言で沖縄限定の意、シャープ)や「沖縄晴れ」(三洋電機)といった耐塩害商品がテレビCMでお馴染であったが、両社とも最近生産終了となってしまった。自動車の防錆処理では、世界40ヶ国というジーバート(本社は米国)[14]が有名である。

防錆処理業者は沖縄県内に数社ある。空調機器にしても自動車にしても、内地のメーカー工場では生産ラインの都合か処理を行わず、沖縄に持ってきてから分解、内部の防錆塗装、再組立をしている。こうして標準品が耐(重)塩害仕様へ生まれ変わる。硫黄島(東京都小笠原村)の防衛庁施設に納入する機器も、一旦沖縄まで持ってきて処置し、硫黄島に向けて再出荷されている。

このように、防錆処理は大量生産では対応されない。こんな実態にも、塩害が特定の少数地域(沖縄、奄美、小笠原など)だけで顕著な問題となっていることが現れている。

6. まとめ

琉大施設部は防錆処理の予算計上で、文部科学省福岡工事事務所(九大内)から毎度説明を求められる。担当者が変わるたびに、沖縄の塩害を説明しなければならないのである。しかし資料の提示によって理解は得られるようになってきている。また防衛庁の沖縄県内設備は100%防錆処理しているそうである。塩害に対する深い認識があり、予算措置もしっかりされているものと思われる。

当センターの液化設備は全く塩害対策されていなかったわけだが、事例のトラブルを内地業者のせいばかりにはできない。液化システムの導入(更新)にあたっては、当センター側で十分な知識を身に付け、地域特性に合わせた対策を仕様書に盛り込む必要がある。またその前段の予算要求においても、防錆の必要性を十分に訴え、対策にかかる費用を確保しなければならない。

謝辞

快く情報提供いただきました琉大施設部設備課仲栄真係長、同工学部環境建設工学科森田教授、(株)ゆにてっくす、(資)ジーバート沖縄、(有)ケイ・エム・ジーバート、ケーザー・コンプレッサー(株)、またWWWで各種情報を公開されている多くの方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] 琉球新報1983年8月5日(金)1版8面、空調用冷却塔・屋外タンクなど5~7年で腐食
 - [2] 沖縄タイムス1988年8月15日(月)1版4面、模索する地方経済<23>沖縄仕様
 - [3] 高耐食金属建材セミナーテキスト、琉大工・森田研究室、塩害地標準構法研究会、1996年7月5日
 - [4] 第2回金属建材セミナーテキスト、琉大工・森田研究室、沖縄材料リフォーム研究会、1997年10月14日
 - [5] 琉球新報1983年7月5日(火)1版15面、サビ防戦「協議会」が発足
 - [6] <http://www.jraia.or.jp/09/index.html> の【その他】
 - [7] <http://www.jlassn.or.jp/hyojyn/index.html> のガイド117
 - [8] <http://eco-net.tlt.co.jp/eco-net/catalog/use/use.htm> の1260
 - [9] http://www.jcda.or.jp/page/part2/2_2.html
 - [10] <http://www.corrosion-center.jp/lect/qa.html> のQ017
 - [11] <http://www.roval.co.jp/>
 - [12] http://www.kure.net/products/mechanical/index_i.html
 - [13] ガードエースS-50仕様書、(株)ゆにてっくす
 - [14] <http://www.ziebart.com/>
- その他、錆関係のリンク集を<http://www.cc.u-ryukyu.ac.jp/lrc/>に用意





SANYO
CONDENSER UNIT

JRA耐重塩害仕様