

蓄熱式空調システム異常診断ツール「C/E表(水蓄熱版)」の取り扱いについて

1. ツールの概要

水蓄熱システムの不具合はいろいろな原因が考えられるものの、最も多い不具合原因でそれが蓄熱運転性能に大きな影響を及ぼすものは典型的な症状 - / 原因として蓄熱技術の専門家には経験常識的に把握できている。本ツールはそのような重要フォルトを的確に抽出するための因果関係を整理するという目的から始まっている。従って症状に表れない全体的な能力低下のようなものは本ツールの得意先ではない。

以上のような重要フォルトは蓄熱システムの設計と制御の基本事項に関連するものが多い。例えば、熱源の定温設定制御(吸い込み三方弁制御)が無いが故障している、空調機の制御が三方弁であるか二方弁でも故障している、ファンコイルユニットが多数設置されていて小温度差でしかも制御が無いが三方弁である、熱源の出口温度による容量制御が生きていて、定温設定制御と干渉しあって部分負荷運転している、などであり、こういった原因の結果として夜間蓄熱量が不足したり昼間追従運転が多くなったり、槽全体の温度が上がったり、冷暖房不足に陥ったり、温度プロフィールが乱れたりするのである。従ってこのツールを操作することによって、因果関係を追いながら、或いは記入されたコメントや処置策を読みながら蓄熱システムの設計・制御・運転管理は如何にあるべきかを学ばせる、教育的効果をも持たせることも目的としている。従って不具合の原因を一つに絞り込むことは目的としておらず、複数の可能な原因からそれぞれの状況確認を現地で行って原因を特定すべきである、という考えである。

このような典型的な症状、或いは原因的な症状は、運転管理マニュアル(例えば当センター発行の保全・診断マニュアルの保全篇)に従って保守管理をまともに行っていれば把握できるものであり、従って本ツールの利用対象者は設計者からオペレーターまで広い範囲のユーザーを考えている。

2. 取り扱い方法

本ツールは印刷出力を見ながら利用することも可能であるが、以下には、Microsoft Excel 上で利用する場合の取り扱い方法を示す。

(1) C/E 表ファイルの起動（ファイル名は FDDSCE.xls）

C/E 表ファイルは以下の 2 つのシートにより構成されている。

「参照元」：次の「症状入力シート」で作業する場合に参照するシート（編集不可）。

「症状入力シート」：作業用のシート。

なお、「症状入力シート」では Excel の HyperLink 関数を使用しており、ファイル名の指定が必要なため、ファイル名（FDDSCE.xls）は変更不可であるが、ドライブやディレクトリの変更には対応できる。

(2) 「症状入力シート」を表示

3 つのシートのうち、症状入力シートが診断作業用シートであるので、これを選択して表示させる（図 1 参照）。

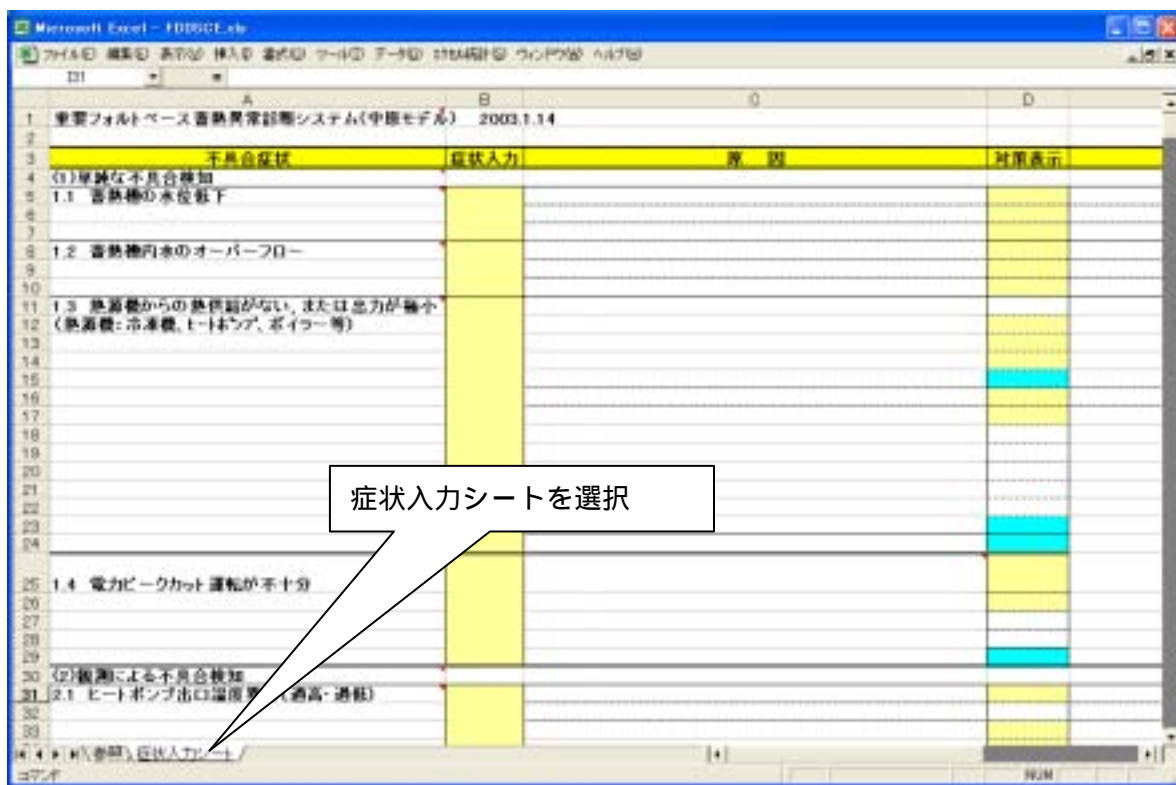


図 1 症状入力シート

(3) 観測症状の入力

図 2 に示すように、「症状入力」欄 (B 列) の黄色セルにマル「1」を入力すると原因候補の一覧が「原因」欄 (C 列) に表示される。

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

不具合症状	症状入力	原因	対策表示
(1) 異常な不具合発知 1.1 蓄熱槽の水位低下			
1.2 蓄熱槽内水のオーバーフロー			
1.3 熱源機からの熱供給がない、または出力が極小 (熱源機: 冷凍機、ヒートポンプ、ボイラー等)	1	・ 熱源機停止 (1) 手動停止 (2) 起動停止スケジュールのエラー (3) 緊急停止 ・ 熱源機異常停止・緊急停止 →4.1へ ・ 熱源機の故障 ・ 安全回路の動作	
1.4 電力ピークカット 運転が不十分			
(2) 観測による不具合発知 2.1 ヒートポンプ出口温度異常(過高・過低)			

Callouts in the image point to the '症状入力' column (B) and the '原因候補表示' area (C).

図 2 観測症状の入力

(4) 「対策表示」欄 (D 列) のうち、黄色セルの部分に「1」を入力すると対応する対策が「対策」欄 (E 列) に表示される。

(5) 「原因」欄で参照先がある場合には、「対策表示」欄 (D 列) の水色セルに HyperLink 関数が設定してあり、そこにマウスを合わせてクリックすると、リンク先の「不具合症状」欄 (A 列) へセルが移動する。

(6) 再試行する場合、「1」を削除する必要があるが、HyperLink が設定してあるセル (D 列水色セル) の内容も削除すると、HyperLink が使えなくなる点に注意しなければならない。

上述の手順により診断を進めることが可能であるが、HyperLink 機能により、順次症状をチェックすることができ、フォルトツリー的な流れを表形式で実行できるようにしている。

3.コメント文

追加・修正後のコメント文を以下に示す。なお、コメント文は、Microsoft EXCEL 上で C/E 表を利用する際、不具合症状項目にマウスを移動させると、「吹き出し」により、その症状の解説文が記述されている（図 3 参照）。

不具合症状	症状入力	原因	対策表示
(1) 単純な不具合検知			
1.1 蓄熱槽の水位低下			
1.2 蓄熱槽内水のオーバーフロー			
1.3 熱源側からの熱供給がない、または出力が微小 (熱源機: 冷凍機、ヒートポンプ、ボイラー等)			
1.4 電力ピークカット運転が不十分			
(2) 観測による不具合検知			
2.1 ヒートポンプ出口温度異常(過高・過低)			

Tooltip text for 1.4: 13:00~14:00時間帯の電力ピークカット時間帯に熱源機が水循環ヒートポンプの運転を止す前の状態電力消費量に達している。ピークカット運転が実施されていない場合は不具合現象は見られません。

図 3 C/E 表のコメント

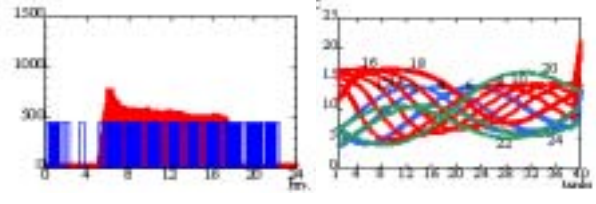
表 1 に C/E 表の不具合症状とそれに付随するコメント文を、表 2 に原因欄の項目に対するコメント文を示す。なお、タイトルに記されているコメントは以下のとおりである。

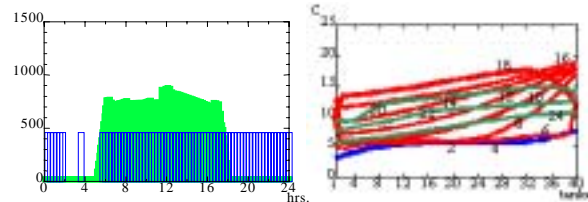
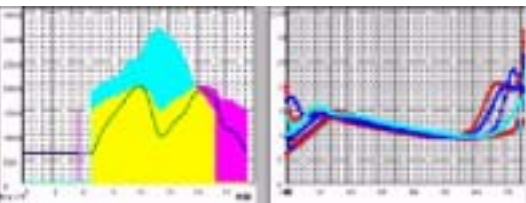
この診断モデルは、

1. 最終原因を確定的に搾り出すものではなく、把握できる情報の範囲で不具合現象の原因となり得るハード・ソフト上の候補を探り出すことである。
2. 原因追及の経過の中で、蓄熱システムの特性とハード・ソフトとの関連性を学べるように工夫している。
3. 複数の候補原因が抽出されれば、その先に進むためには、追加情報を得るための計測や現地確認、専門家への聞き取り、等が必要である。

表 1 症状と対応するコメント一覧

不具合症状	コメント文
(1)単純な不具合検知	現象を目で見れば、これは何か変だ、と誰でも気づくような不具合
1.1 蓄熱槽の水位低下	1) マンホールを開ければ異常に水位が低下している、 2) 水位計が低い値を示している、 3) 給水弁が開いて水が補給されている音が聞こえる、 など。
1.2 蓄熱槽内水のオーバーフロー	1) マンホールを開けると異常に水位が上昇している、 2) オーバーフローから水が流れている、またはそのような音がする 3) 湧水排水ポンプが異常に頻繁に稼働している、 など。
1.3 熱源機からの熱供給がない、または出力が極小 (熱源機：冷凍機、ヒートポンプ、ボイラー等)	1) 動くべきはずの時間帯に熱源が動かない、 2) 蓄熱量が無くなりつつあるのに熱源が動かない 3) 熱源が動いているのに出力が出ない(出入口温度差が殆どつかない)、 4) 故障警報が出ている、 など。
1.4 電力ピークカット運転が不十分	13：00～16：00 時間帯の電力ピークカット時間帯に熱源(電動冷凍機・ヒートポンプ)が運転し、その前後の昼間電力時間帯に運転していない。 ピークカット運転契約自体を行っていない場合には不具合現象とは見なされない。
(2)観測による不具合検知	BEMS 画面上のデータ、プリント出力データ、或いは機械に取り付けられた計測器(温度計など)を見て異常な値を示していることが判るようなもの。 但し、センサー、計器の誤差の有無を確認すること。
2.1 ヒートポンプ出口温度異常 (過高・過低)	1) 設定したはずの出口温度条件からかなり外れた値を示している、 2) 出入口温度差が異常に大きかったり小さかったりするために出口温度が高すぎ、或いは低すぎる、 など。 異常な値とは、 $\text{設定温度} \pm 1$ 以上 の場合である。
2.2 ヒートポンプ出口温度が上下にふらつく	1) 出口温度が不定期に、不連続的に、或いは周期的に変動して、設定値からかなり離れた値になっている
2.3 二次側還水温度不具合(送水・還水温度差過小) 過小の判断基準 ・設計値 ・竣工時の調整値(TAB) ・性能検証値(コミッションング)	1) 蓄熱槽からの送水温度より 1～2 しか変わらない温度の水が還ってくる、 2) 正常なときの温度関係とかなり異なった温度差の状況である(例えば平生は朝方の温度差が 10 くらいついているのに 5 くらいしかつかない)、 などの原因で蓄熱が十分に出来ない。(従って負荷が十分に賅えない)

<p>2.4 水-水熱交換器一次側還水温度不具合(小温度差)</p>	<p>二次側と熱交換器と切り離している場合で、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 蓄熱槽からの送水温度より 1~2 しか変わらない温度の水しか熱交換器から還ってこない、 2) 或いは正常なときの温度関係とかなり異なった温度差の状況である(例えば平生は朝方の温度差が 8 くらいついているのに 4 くらいしかつかない)、 <p>などの原因で蓄熱が十分に出来ない。(従って負荷が十分に賄えない)</p>
<p>2.5 始端槽(汲上げ槽)温度異常(上昇：冷房時)</p>	<p>・始端槽の温度が空調負荷時間帯中に異常に(空調コイル設計温度以上に、常識的には冷水では 10 以上に、温水では 40 以下に) になっている状況。</p> <p>・但し蓄熱温度最適設定制御を行っている場合は、蓄熱設定温度(冷凍機・ヒートポンプ出口設定温度) ± 1.5 になると異常であろう。</p> <p>注：二次側空調機へ冷温水を汲み上げる槽を始端槽・汲み上げ槽と呼ぶ</p>
<p>2.6 終端槽(還水槽)温度異常(過低：冷房時)</p>	<p>・終端槽の温度が空調負荷時間帯中に異常になっている(二方弁制御がなされているとして、空調コイル出入口温度差が設計値よりかなり小さくなっている) 状況。</p> <p>・ここに、正常な温度差とは何かについては、コイルの設計条件と制御方式(二方弁制御か三方弁制御か)によって変わるが、基本的には出入口温度差が 5 以下になった時には何らかの不具合(制御異常、設計の不備)があると考えてよい。</p> <p>注：二次側空調機からの冷温水還水が流入する槽を終端槽・還水槽と呼ぶ。</p>
<p>2.7 槽内温度プロフィール異常</p>	<p>連結完全混合槽型蓄熱槽では、連結する各槽の温度を、温度成層型蓄熱槽では上下方向に水平に分割した各槽の温度、をプロットして曲線で結び、縦軸を温度、横軸を位置(槽長さ或いは容量に相当する)、時刻をパラメータとして描いた図を(位置型)温度プロフィールと言う。</p>
<p>・交差プロフィール</p>	<p>図のように始端槽と終端槽の温度変動が大きいため交差プロフィールとなすもので、熱源吸込み三方弁制御(定温蓄熱制御)の不具合で終端槽から大部分の水を吸込む状態になっている場合に生じる</p> 

<p>・並行移動プロフィール</p>	<p>図のように始端槽と終端槽を含め各槽の温度分布が全体に平行移動状に膨らむもので、二次側空調機に設置された変流量二方弁制御が何らかの不具合で常に前回状態で推移した場合に生じる。</p> 
<p>・中弛みプロフィール</p>	<p>連結完全混合槽型蓄熱槽において、両端槽に比して中間部の槽の温度が低下した状態のプロフィールで、二次側空調コイルの設計温度差が小さく、かつ定流量三方弁制御である(この現象示す設備は多くの場合熱源の三方弁制御も設置されていないケースが多い) 熱源入口温度が確保できないので蓄熱不足に陥り、肝心のときに蓄熱運転が出来ない。</p> 
<p>2.8 ヒートポンプ運転不能</p>	<p>何らかの原因でヒートポンプ(チラー)が起動できない。</p>
<p>2.9 二次側送水温度過高(冷房時)・過低(暖房時)または冷暖房不足</p>	<p>蓄熱槽から二次側への送水温度が</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 空調機コイルの冷温水入口設計温度を満たしていない。 2) 送水温度最適化制御を行っているとき、実際の送水温度がその最適設定温度を満たしていない、 3) 居住者から暑い、寒い等の冷暖房不足の苦情が出て、それが風量不足ではなく吹き出し温度が満足でなくて、冷温水温度の問題であると見当がつけられる場合。 <p>など。</p>
<p>2.10 夜間蓄熱量,夜間シフト不足</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 夜間時間帯の蓄熱量が計画値に対してかなり小さい、 2) 熱源出力が定格値よりかなり小さい、 3) 昼間の追従運転をしている(即ち負荷がかなり大きい)にもかかわらず夜間運転が途中で打ち切られてしまう、などの現象を言う。 <p>チェックすべき参照値は</p> <ul style="list-style-type: none"> ・蓄熱揚熱源機定格 10 時間運転熱量 ・温度プロフィールから逆算、または熱量計による夜間蓄熱量または熱源機出力熱量 ・空調負荷の日量

<p>2.11 エネルギー消費量過大</p>	<p>何を持って過大と判断するか?</p> <p>1) 目安：建物全体の一次エネルギー消費原単位(MJ/m²/年)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般事務所：1,000～1,600 ・超高層事務所：1,500～2,200 ・病院・ホテル：2,500～3,500 ・店舗・百貨店：2,000～2,800 <p>2) 対象ごとエネルギー消費割合</p> <table border="1" style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th></th> <th>事務所</th> <th>病院</th> <th>ホテル</th> <th>百貨店</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>・熱源系：</td> <td>23%</td> <td>25%</td> <td>21%</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>・空調動力：</td> <td>27%</td> <td>5%</td> <td>25%</td> <td>22%</td> </tr> <tr> <td>・照明・コンセント</td> <td>33%</td> <td>14%</td> <td>14%</td> <td>34%</td> </tr> <tr> <td>・給湯用</td> <td>3%</td> <td>42%</td> <td>31%</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>・その他</td> <td>14%</td> <td>14%</td> <td>9%</td> <td>15%</td> </tr> </tbody> </table> <p>2) これらの値から上方向に逸脱している場合は過大と判断してよい。</p> <p>3) 当該ビルの経年データを 15%以上、上方に逸脱すれば、気象条件や内部負荷条件の変動範囲以上であるとして過大であると判断してよい。</p> <p>4) 可能な場合は対象機器・サブシステムごとの形状データを蓄積しておいて当該システムのフォルト検知の判断の目安とする。但し、他ビルとの比較における判断目安は上記 1)～2)のデータによる。</p>		事務所	病院	ホテル	百貨店	・熱源系：	23%	25%	21%	18%	・空調動力：	27%	5%	25%	22%	・照明・コンセント	33%	14%	14%	34%	・給湯用	3%	42%	31%	11%	・その他	14%	14%	9%	15%
	事務所	病院	ホテル	百貨店																											
・熱源系：	23%	25%	21%	18%																											
・空調動力：	27%	5%	25%	22%																											
・照明・コンセント	33%	14%	14%	34%																											
・給湯用	3%	42%	31%	11%																											
・その他	14%	14%	9%	15%																											
<p>2.11.1 熱源エネルギー</p>	<p>上記の原単位からの判定のほか、COP の値を判断目安とする。</p> <p>1) 夏冬のピーク負荷季節の運転 COP が定格 COP の 10%以上低下していれば不具合と判断する。</p> <p>2) 中間期の運転 COP が定格値より小さければ不具合である。</p> <p>3) 熱源システムとしての一次エネルギー基準システム COP (SCOP) が年間値として 1.0 (吸収冷凍機を含む複合熱源のときは 0.8)より低いと不具合ありと判断してみる。</p>																														
<p>2.11.2 ポンプエネルギー</p>	<p>1) 前述の空調動力原単位のうち、ポンプとファンの割合は 1 : 4～7 である(二次側ポンプを含む)。ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・二次側クローズ：4～5、 ・二次側オープン：6～7 <p>である。</p> <p>2) ポンプ系のエネルギー効率評価として WTF(水搬送システム成績係数)を定義しておりその推奨値は</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クローズ系：WTF > 20 ・オープン系：WTF > 35 <p>(年間値基準)</p> <p>を参照値とする</p> <p>注：WTF の定義</p> $WTF = \frac{\text{当該ポンプ系で処理する全熱量(kWh)}}{\text{当該ポンプ系の消費エネルギー(kWh)}}$																														

2.12 その他 運転停止時の蓄熱槽温度低下過大	連結完全混合槽型の場合、蓄熱槽の各槽がほぼ均等に温度変化する場合と、局部的に変動するかによって原因が異なる。
(3)潜在的な不具合検知：リアルタイムの診断が必要	簡単な現場観察や、BEMS上の計測データ、トレンドグラフ、温度プロフィールを見ただけでは不具合の有無が判定できないけれども、潜在的に蓄熱性能、蓄熱槽効率、省エネルギー性などの影響を及ぼしている原因現象を言う。
3.1 断熱材の経年劣化	<ul style="list-style-type: none"> ・同一時間の蓄熱可能量が徐々に低下する、 ・ヒートポンプ停止時の槽温低下速度大きくなる、 などの現象は余程気をつけて常時監視・解析しておかなければ気づかないポイントであるので潜在的な不具合とした。 .但し、断熱材剥離の場合はマンホールを開けて目視可能。
3.2 負荷特性の変化	これは不具合・異常と言うより、蓄熱量が不足となった理由として、システム異常ではなく負荷の増大が原因の場合も有り、蓄熱システムの責任ではない場合の認識も必要であるということの注意喚起である。
3.3 流量(水量)過大	ポンプ動力の過大(省エネルギー上の問題)、二次側空調機が三方弁制御・無制御の場合に蓄熱運転性能における致命性をさらに深める要因となる。
3.4 流量(水量)過小	二次側空調機の制御弁が全開であるにもかかわらず流量が過少で出入り口温度差が大きすぎることで検知できるが、直接的には居住者からのクレームとしてあがる可能性がある。
(4)個別診断ルーチン	個別要素機器の不具合であり、以上の蓄熱システムの不具合現象が要素機器そのものの不具合に起因する場合はリンク先としてここに到達する。

表 2 原因と対応するコメント一覧

症状	原因	コメント文
1.4	・負荷が予想外に大きい。	<p>ピーク時間帯を除く全時間帯を全能力運転してなおかつ負荷を賅えない場合。 下記の点をチェックする必要がある</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 全時間帯の蓄熱運転が全能力運転していること ($Q=2I \times Qr$) 2) プロフィールから計算した蓄放熱量が Q にほぼ等しいこと 3) 放熱完了時のプロフィールが始端槽の限界温度に達していること <p>これが成り立たない場合は過負荷とは見なされない</p>
2.1	(4)ポンプと冷凍機とのインターロック不全	<p>冷凍機が停止してから一定時間後にポンプが停止するという回路において、タイマーの故障ないし設定の不適切から長時間ポンプのみ運転を続けた場合で、入口温度制御の場合は入口温度に相当する高温の冷水が始端槽に大量に流入することになる。</p> <p>この意味からも出口温度制御で無ければならない。出口温度制御の場合はこのような場合でも紫槽槽からのバイパス水を循環するに過ぎないので始端槽温度を大幅に攪乱することはない。</p>
2.1	(5)三方弁と冷凍機・ポンプとのインターロック不全	<p>前項(3)(コメント参照)においてポンプインターロックがあり、かつ入口温度制御としておいても、冷凍機始動時に下記の現象が起こる。(冷水蓄熱時として)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 正常満蓄停止時には三方弁は完全に終端槽側に開いているが停止中に管内水温上昇に伴い始端槽側ポートも開く。 2) 正常非満蓄停止時(最適蓄熱停止の場合など)は三方弁は中間位置にある。 <p>何れにしても冷凍機再起動時は三方弁は高温終端槽側の水を吸込む体勢に有り、起動後数分間の冷凍出力不足期間中は高温側の水が冷却不足のまま投入されて始端槽水温を乱すこととなる。</p> <p>そこで、冷凍機停止時には三方弁を低温始端槽側に固定するインターロックが必要である。このインターロックの解除は三方弁の開閉速度と冷凍機起動時の出力特性に応じて調整する必要があり、これを怠ると別のフォルト(冷凍機低温カットによる非常停止)がおきかねないから注意が肝要。</p> <p>弁の開閉速度が遅くかつターボ冷凍機のペーン制御のような場合は出力制御をするペーン開度遅延回路(インタラプタ-)が必要となることがある。</p>
2.9	a)槽容量の計算ミス	<ol style="list-style-type: none"> 1) 蓄熱槽効率の推定ミス、その原因としては <ul style="list-style-type: none"> ・効率推定表を用いていない。 ・二次側空調機制御が定流量三方弁制御 ・低温度差の FCU が卓越している。 2) 負荷計算、または蓄熱必要量計算ミス 3) 槽からの熱損失が甚だしい。 <p>などが考えられる。</p>
2.9	(2)制御機能不全	<p>槽容量設計は妥当であったが、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 制御設計・制御機器選定の不適切 2) 試験調整、パラメーター調整の不適切 <p>などから蓄熱温度プロフィール異常を経て結果として蓄熱槽容量不足(蓄熱量不足)となってしまう場合。</p>