

[報告]

自記温度記録計の温度波形で冷凍庫の霜取り時期を 予見する方法とその有用性

福岡県赤十字血液センター

井上浩二, 白木喜子, 黒木敬介, 古田秀利, 荒添 悟, 宮崎 卓, 大齒 健, 下河 真, 松崎浩史

A method for predicting the defrosting time of the freezer by using the self-recording temperature's waveform, and its usefulness

Fukuoka Red Cross Blood Center

Koji Inoue, Yoshiko Shiraki, Keisuke Kuroki, Hidetoshi Furuta, Satoru Arazoe,
Takashi Miyazaki, Tsuyoshi Ohba, Makoto Shimokawa and Koji Matsuzaki

抄 錄

新鮮凍結血漿 (FFP) 保管用冷凍庫の冷却器内の着霜が原因と考えられる温度上昇の警報が発報した。自記温度記録計の温度波形を遡って検証したところ、正常では小さな鋸歯状の波形が、発報の1カ月前からピーク間隔が長くなり、徐々に大きく不規則な波形に変化していた。この波形は、冷凍庫の電源を切って冷却器内を除霜することで正常に復した。この事例を踏まえ、冷凍庫の日常点検項目に自記温度記録計の温度波形の異常の有無を加え、供給課職員に教育訓練を行った。その後、日常点検で同様の波形変化が別の冷凍庫に現れ、計画的な除霜で改善した。冷凍庫には自動霜取り装置が付いているが、それで取り切れない霜については長時間の除霜が必要になる。冷却器内の着霜は視認できず、警報で発見された場合の対応には、緊急のFFP移動が必要になる。冷凍庫の自記温度記録計の記録紙の観察を日常点検に加えて管理する方法は、安全で計画的な除霜作業に有用である。

Key words: defrost, self-recording temperature recorder,
temperature waveform

【はじめに】

新鮮凍結血漿 (FFP) 保管用の冷凍庫には、冷却器内の着霜により冷却能が低下することを防ぐために、一定時間ごとに霜取りを行う自動霜取り機能がある。しかし、冷凍庫が設置されている環境や運用状況、運用期間により、自動霜取り機能では取り切れない霜が徐々に積層し、冷却能が低下して庫内の温度上昇を来すことがある。

今回、冷却器内の着霜に起因すると思われる冷凍庫の庫内温度上昇を経験し、その原因調査において自記温度記録計の温度波形から得られた知見を日常点検に生かす取り組みを行い、有用と思われたので報告する。

【冷凍庫の庫内温度上昇による警報発報】

設定温度 -40°C で稼働している FFP 保管用冷

凍庫(MDF-U443, Panasonic社)の庫内温度が上昇し、供給作業室の警報装置(高温側警報設定温度-25°C)が作動した。その後、管理温度-20°Cを超えることなく庫内温度が-25°C以下に低下して警報が解除されたため、温度上昇はFFPの出庫作業と自動霜取りの作動時間が重なったことに起因する一時的なものであると判断した。しかし、約3時間後に再び庫内温度が上昇して警報装置が作動したため、緊急に庫内に保管している

FFPを別の冷凍庫に移し替え、原因調査を行った。

【原因の調査と対応】

1. 冷凍庫内の目視確認と扉開放による霜取りの実施

冷凍庫内を目視確認したところ、庫内上部にあるファンモーター付近に多量の霜が付着しており、冷却器および冷気循環用配管部分の着霜が温

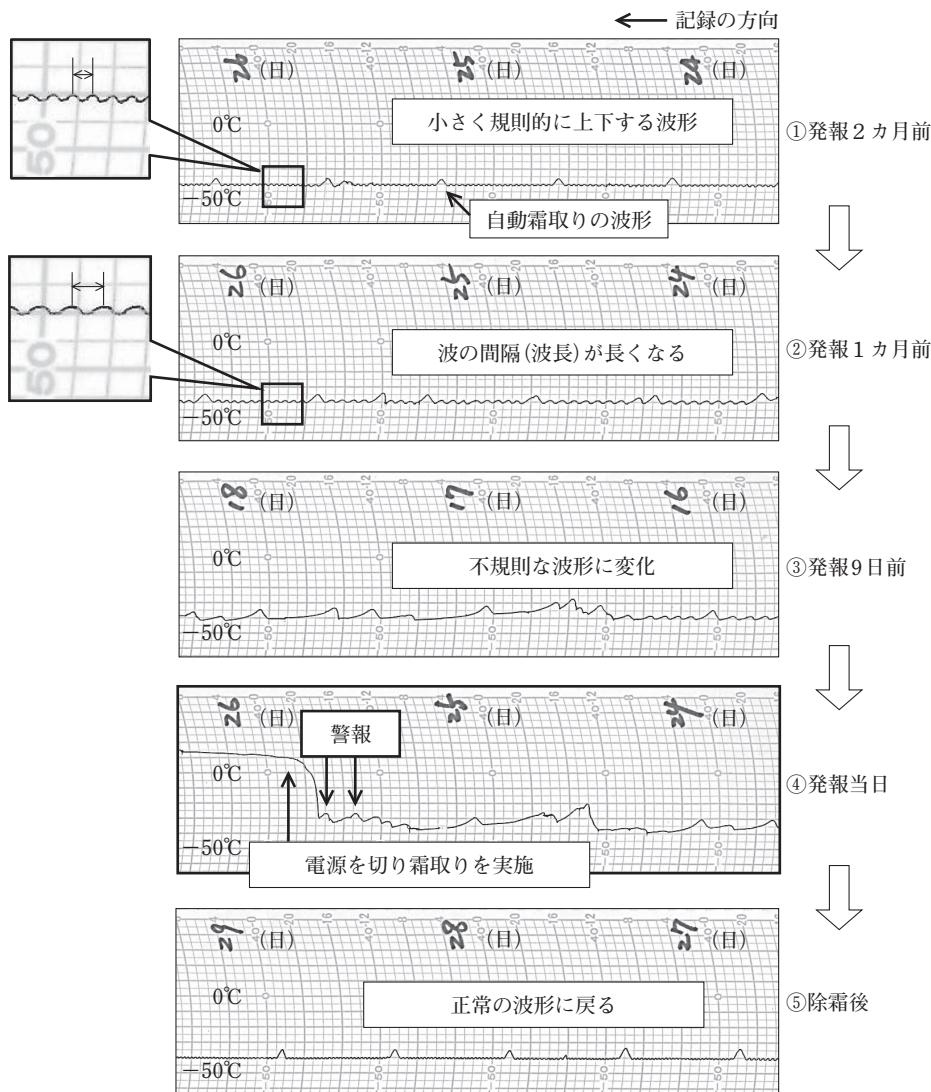


図1 自記温度記録計の温度波形の推移

度上昇の原因として疑われた。そこで、冷凍庫の電源を切り、扉を開放して除霜を行ったところ、電源の再投入後には設定温度どおりに稼働することが確認されたため、今回の温度上昇は冷却器内の着霜が原因と判断した。

2. 自記温度記録計の温度波形の確認

図1に当該冷凍庫の自記温度記録計の温度記録図(以下チャートと略す)を示す。警報装置の作動2カ月前のチャート①では、記録紙上に描かれた温度波形は小さく規則的に上下する鋸歯状波形であった。警報装置の作動1カ月前のチャート②をチャート①と比較すると、規則的に上下する波形のピーク間隔(波長)が広くなっていることが分かる(チャート①および②の左図)。チャート③および④は警報発報の9日前および当日のチャート

で、波形の規則性が失われて大きく上下する不規則な波形に変化していた。冷凍庫の電源を切って除霜を実施した後には、再び正常な波形へと復帰した(チャート⑤)。

【改善対策とその効果】

今回の事例を踏まえ、冷凍庫の日常点検項目に自記温度記録計の温度波形の異常の有無を加えて、着霜の指標にすることとした(図2)。また供給課職員に、発端例に見られた冷却器の着霜に起因する温度波形の変化について教育訓練を実施した。

その後、別の同型冷凍庫(MDF-U443-PJ, Panasonic社)の日常点検で、温度波形の異常があることを供給課職員が気付き、警報装置が作動する前に計画的な除霜を行うことで温度波形は正常に復した。図3にその事例の自記温度記録計のチ

様式 DDC011-01(2) (版数 4)						
保管機器の日常点検記録(北九州供給課) (点検年月日: 年 月 日)						
【冷凍庫(室)】		機器名: 新鮮凍結血漿製剤 保管庫		機器管理番号: No.		
点検対象	点検項目	点検内容	判定基準	結果	結果	結果
本体	通電状態	通常ランプの点灯又は表示温度が表示されているかを確認	通常ランプが点灯、温度が表示されていること	通・不適	通・不適	通・不適
	温調機の温度	表示温度値を確認	-20℃以下	℃	℃	℃
	ドア	ドアの閉鎖状態の確認	ドアが確実に閉鎖されていること	通・不適	通・不適	通・不適
	機器異常	異常音、振動、結露等の有無確認	異常が無いこと	通・不適	通・不適	通・不適
	警報スイッチ	警報スイッチ及びドアランプがONになっていないことの確認	警報スイッチ及びドアランプがONになっていること	通・不適	通・不適	通・不適
自記温度記録計	温度	記録紙の温度確認(通常確認含む)	-20℃以下	℃	℃	℃
	記録紙	作動状態の異常の有無、紙詰まりの有無、温度波形の異常の有無。	作動状態に異常がないこと。紙詰まりがないこと。温度波形に異常がないこと。	通・不適	通・不適	通・不適
集中警報装置	日時	記録紙の日時と実時間との誤差が1時間程度以内であることの確認	記録紙の日時と実時間との誤差が1時間程度以内であること	通・不適	通・不適	通・不適
	スイッチ	集中警報装置の電源(OFFの場合理由を記入)	ON / OFF確認	ON / OFF	ON / OFF	ON / OFF
温調機以外の警報ライン	温度	デジタル表示温度確認(通常確認含む)	-20℃以下	℃	℃	℃
	点検担当者	点検担当者	判定	通・不適	通・不適	通・不適

(備考)

図2 日常点検記録に追加した自記温度記録紙の観察項目(破線枠)

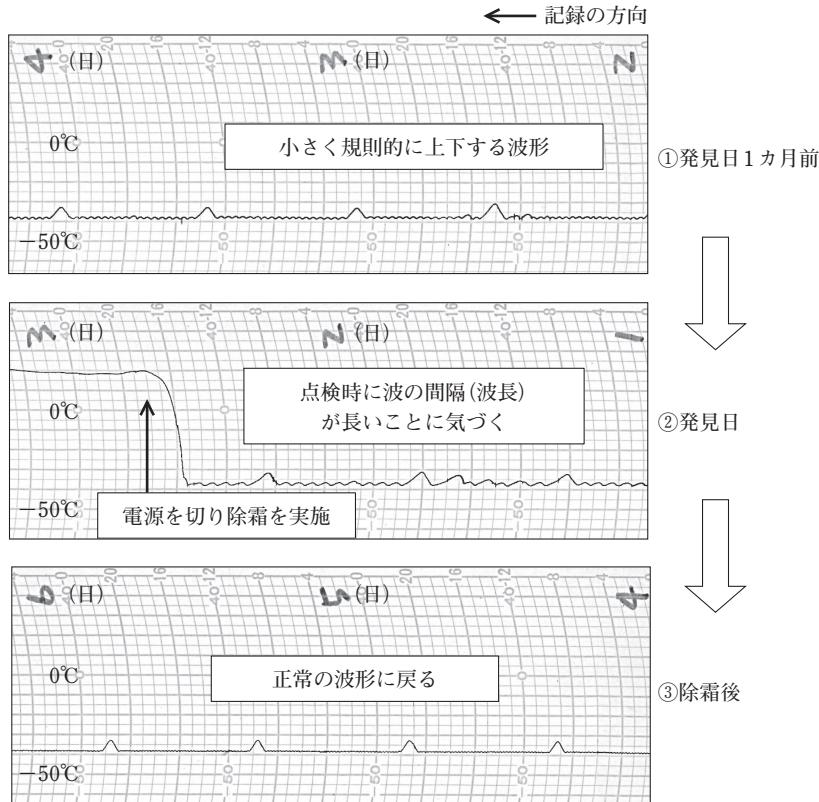


図3 日常点検時の温度波形異常に対して計画的除霜を行った事例

ヤートを示す。温度波形の異常に気づいた日のチャート②をその1カ月前のチャート①と比較すると、温度波形のピーク間隔が広がっており、波形の規則性も失われつつあった。除霜後の温度波形はチャート③のように規則的な鋸歯状波形に復し、先に示した発端例での現象が再現されていた。

【考 察】

着霜とは、冷却器の冷媒の蒸発温度が0°C以下（氷点下）になると、空気中の水分が冷却器内で霜となって付着する現象をいう¹⁾。付着した霜は空気を多量に含んでいるため熱伝導率が悪く、冷却器内の霜が厚くなると冷却機能が低下する²⁾。冷凍庫内の冷却は、ファンモーターで冷却器に空気を送風し、冷媒の蒸発潜熱によって冷却された空気が庫内を循環することで行われる（図4）。し

かしながら、冷却器内に大量の霜が付着すると、冷却器に送風された空気は十分冷却されず¹⁾、また、霜が冷却器内の“空気の通路”を狭くし、庫内を循環する空気の風量も減少して、さらに冷却能力が低下する¹⁾。

冷凍庫は冷却器がON/OFFを繰り返すことにより、設定した一定の温度を維持している。正常に稼動している状態では（図4（A））、冷却器のON/OFFが短い間隔で制御されるため、自記温度記録計のチャートには小さく上下する規則的な鋸歯状の温度波形が描かれるが、冷却器内に着霜が起きると（図4（B））、不均一な冷却時間や空気の送風によって温度波形は大きく上下したり、不規則な波形になる。発端例から得られたこれらの知見から、自記温度記録計の温度波形が、外部から目視確認することはできない冷却器内の着霜の

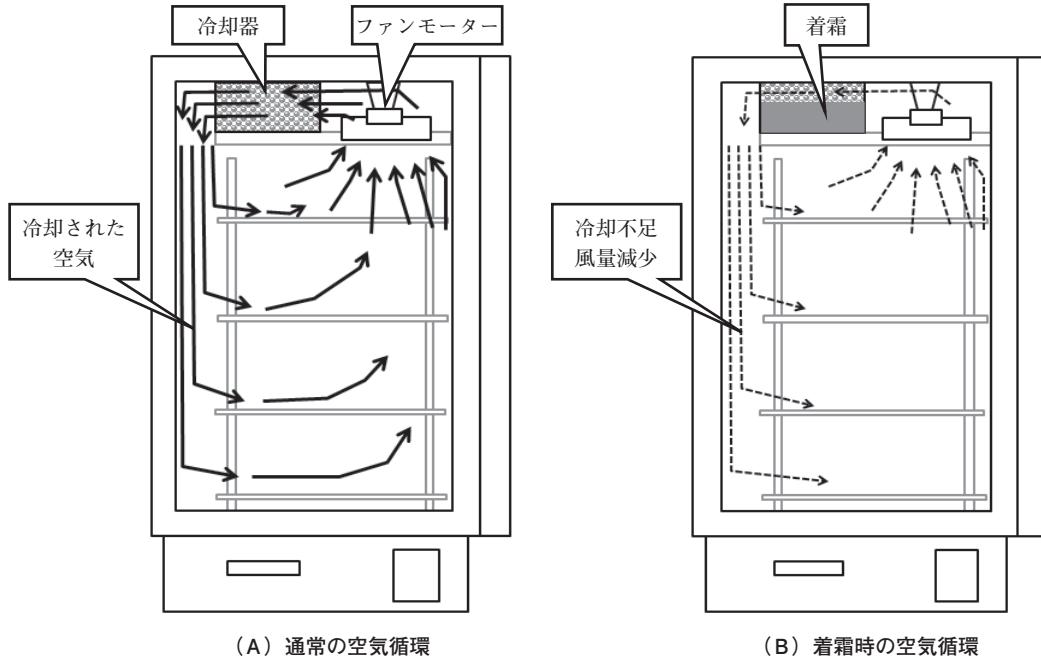


図4 冷凍庫内の空気循環

状態を反映し、除霜の時期を知らせる指標となると考えた。

冷凍庫には冷却器の能力を常に良好に維持するため、自動霜取り装置が備えられているが、設置場所の湿度が高い場合や冷凍庫の扉の開閉頻度が多い場合には、自動霜取り装置では除去しきれない着霜が早くおこる。これまででは庫内温度が上昇すること、つまり冷却機能が低下することで着霜を疑い、冷凍庫本体の電源を切って長時間の除霜を行ってきた。このような冷却機能の低下で行う除霜の場合には、庫内に保管しているFFPを急いで移動させる必要があるが、FFPの移動の際に強い衝撃が加わると容器破損の危険があるため^{3), 4)}、冷凍庫の除霜作業は必要最小限にすることが望ましい。また、突然の警報によって人手の

少ないときに作業を行うのではなく、計画的な除霜が行えれば製品の安全性の確保にも有益である。

今回、自記温度記録計の温度波形の異常の有無を日常点検項目に加えたところ、温度上昇による警報が発報する前に着霜に気づくことができた。このことで、除霜作業は必要な時だけ、人手の多い日勤帯で、FFPの移動を最小限になるよう計画的に行うこととなった。

【結語】

FFP保管用冷凍庫の温度記録の観察を日常点検に加えることは、安全で計画的な除霜作業を行うのに有用である。

文 献

- 1) 鈴木輝明：図解冷凍設備の基礎，p118，ナツメ社，
2016
- 2) 長岡順吉：冷凍工学，p262，コロナ社，1974
- 3) 栗原勝彦ほか：新鮮凍結血漿-LR「日赤」バッグの
破損対策について，血液事業，36(3)：699-703，
2013
- 4) 荒添悟ほか：輸送中における新鮮凍結血漿-LR「日
赤」バッグのより確実な破損防止対策，血液事業，
37(4)：713-717，2015