

# 試薬系統配管保守用の簡易アイスプラグ施工技術

Ice plug application technology for the maintenance of chemical reagent pipe system

(株) ジェイテック	尾形 曜	Hikaru OGATA	(Non-Member)
(株) ジェイテック	市川 友博	Tomohiro ICHIKAWA	(Non-Member)
(株) ジェイテック	野田 静枝	Shizue NODA	(Non-Member)
日本原燃株式会社	古川 敬士	Keishi FURUKAWA	(Non-Member)
日本原燃株式会社	加賀谷 忍	Shinobu KAGAYA	(Non-Member)
日本原燃株式会社	喜多 健太郎	Kentaroh KITA	(Non-Member)

In order to keep stable and continuous operation of the power plants or chemical plants, an ice plug technology are often introduced to them specially for the room temperature water pipe, because of this effect to reduce volume of drainage and the isolation range.

Water in the pipe are frozen from outside with liquid nitrogen as coolant, and this pipe is closed with this frozen water as called “ice plug effect” which generates the adhesive and the frictional force at the inner surface of the pipe.

There are installed many number of chemical reagent (i.e nitric acid or caustic soda solution) and water pipe system in Rokkasho Reprocessing Plant, so the application of ice plug technology to this reagent system is very effective because of these benefits and decrease of the risk of dispersion of the reagent at maintenance.

We prepared a actual sized mock-up device of caustic soda pipe system of Rokkasho Reprocessing Plant, and the technical evaluation of the application of ice plug has been done as follows.

**Keywords ;Ice plug, Reagent system maintenance,**

## 1. 緒言

発電所や化学プラントのように連続運転を行う施設においては、設備の分解点検や保守時に系統からの隔離範囲を最小限にし、かつ作業前のドレン抜き量も低減する技術として、主に常温運転の水配管を中心にアイスプラグが使用されている。

この技術は、保守対象の隔離が困難な機器や弁に対し、配管内の水を液体窒素等で外側から部分的に凍結させ、凍結した際の配管への付着力や摩擦力等を利用してアイスプラグ（氷の栓）を作り、当該部の流路を遮断することで保守等の作業を可能とするものである。

六ヶ所再処理工場(以下「当該施設」という)においては水以外にも硝酸や苛性ソーダ(液体)等試薬の配管が多数あり、水とは特性が異なるため、実規模のモックアップ装置を用いてアイスプラグ技術の適用のための技術検証を行っているので、これを紹介する。

連絡先：尾形 曜  
 〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字沖付 4-91  
 株式会社 ジェイテック 保全技術部  
 設計グループ 共通基盤技術開発チーム  
 e-mail: hikaru-ogata@j-tech66.co.jp

## 2. アイスプラグ技術の概要

図1にアイスプラグ技術の概要を示す。

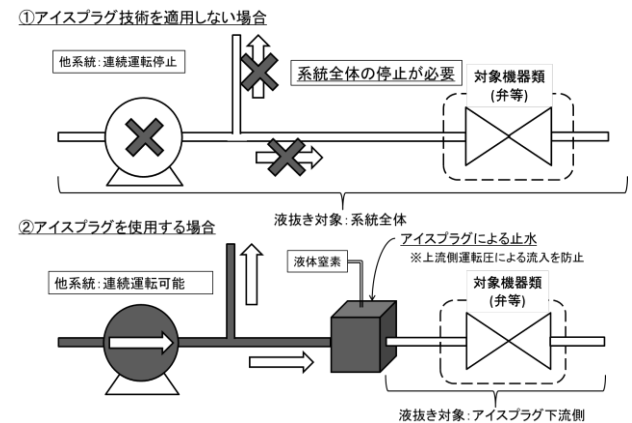


図1 アイスプラグを用いた保守の概要

アイスプラグ技術を適用し保守を行う場合、対象機器（弁等）を閉とし、配管内に液体を滞留させ、対象上流側に仮設のアイスボックスを設置し、中に液体窒素等の冷媒を注入し、配管内部の流体を凍結させる。

凍結後は対象バルブを開とし、アイスプラグ下流の液抜きを行い隔離する。これらのことから、上流のポンプは継続運転可能である。

### 3. アイスプラグ施工のモックアップ試験

#### 3.1 試験条件の設定

硝酸配管へのアイスプラグについては、先行プラント等での実例があることから、苛性ソーダ配管をモックアップ対象試薬として以下のとおり試験を行った。

表1にモックアップ試験の試験条件を示す。これらの試験条件を基に試験を実施し、アイスプラグの成立性および施工条件の検討を行った。

表1 試験条件

①試薬	苛性ソーダ(液体)
②試薬濃度	10M
③試験環境	施工場所気温 約 30℃

試薬系統配管のアイスプラグ施工の成立性および実作業における施工条件を検討するため、図2に示すモックアップ装置を作製し、試薬系統配管におけるアイスプラグ施工のモックアップ試験を行った。

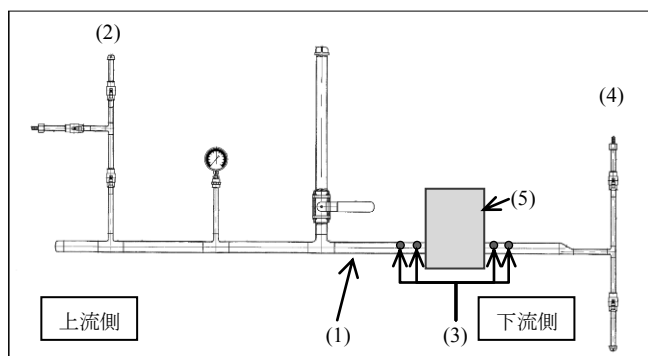


図2 モックアップ装置概要

#### (1)凍結配管

試薬系統配管へのアイスプラグ施工の可否を判断するため、当該施設の試薬系統配管で主に用いられている15A～40AのSUS304L配管の内、施工条件として最も厳しいと考えられる40A配管を施工対象とする。

#### (2)加圧ライン

施工したアイスプラグの止水機能を確認するために、施工対象の配管と窒素ポンペを接続し、上流側より加圧を行う。

#### (3)熱電対

配管表面に熱電対を設置し、温度管理を行う。

#### (4)液位確認ライン

液位計を設置し、アイスプラグ施工時の体積変化を観察する。

#### (5)アイスボックス

図3に示す発泡スチロール製のアイスボックス(W:250×D:240×H:420×t:34mm)を用いる。

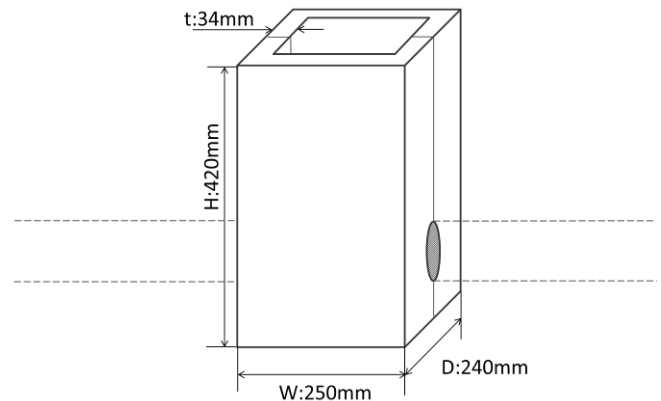


図3 アイスボックス

#### 3.2 モックアップ試験方法

##### (1)アイスプラグ施工

モックアップ装置内を試薬で満たし、アイスボックスを設置した後、液体窒素を注ぎ、アイスプラグ施工を行う。この時、配管表面に熱電対を設置し、施工時の温度管理を行う。

##### (2)アイスプラグの機能確認

液体窒素の沸騰状態から凍結判断を行い、アイスプラグの止水機能を確認するため、表2に示す条件で装置内の加圧を行い、アイスプラグ下流からの液漏れが無いことを以て、機能担保できることを確認する。

表2 機能担保の条件

項目	条件	判断基準
①加圧圧力	0.9 MPa	アイスプラグ下流から液漏れがないこと。
②保持時間	15分	

#### 3.3 モックアップ試験結果

モックアップ装置における試薬系統配管に対するアイスプラグ施工試験を行った結果、機能担保の条件を満足したため、アイスプラグによる隔離が成立することが分かった。

### 3.4 実機施工

モックアップ試験の結果を基に、実機でのアイスプラグ施工による系統の隔離を実施した。

### 3.5 施工における課題

実機施工における凍結判断は、液体窒素の沸騰状態の目視観察および霜の発生状況等の経験則に基づき行っているため、施工された凍結範囲や凍結状況などの情報は得られなかった。

そのため、アイスプラグ施工時のアイスプラグの凍結メカニズムを確認し、配管表面温度と凍結範囲の関連性や、凍結判断時間と凍結範囲の関連性を究明するため、以降に述べるアイスプラグ施工における配管内の温度分布測定を行うものとした。

## 4. 配管内温度分布測定

アイスプラグ施工時における配管内の温度分布を測定するため、既存のモックアップ装置の改造を行い、配管内の温度分布測定試験を行った。図4に改造したモックアップ装置(以下「配管内温度分布測定装置」という)の全容を示す。

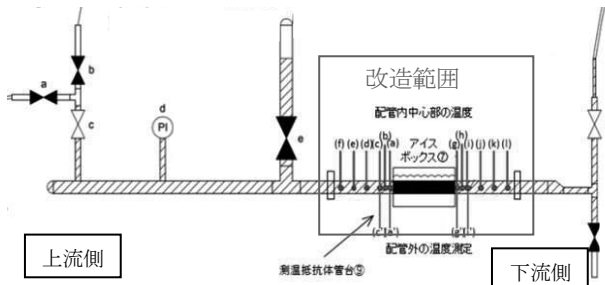


図4 モックアップ装置の改造について

改造箇所は、アイスボックス設置箇所の上流側、下流側共に10mm、20mm、20mm、50mm、50mm、50mmの間隔で設置したノズル部であり、測温抵抗体を用いた配管内温度分布測定を可能とした。

### 4.1 凍結対象試薬

試薬系統配管アイスプラグ施工技術開発において凍結対象とする試薬の物性値を表3に示す。

表3 各試薬の物性値

使用試薬	水	苛性ソーダ(液体)
濃度	—	10 M
比重	1 g/cm <sup>3</sup>	1.33 g/cm <sup>3</sup>
凝固点温度 (文献値)	0 °C	3 °C <sup>[1]</sup>

### 4.2 事前試験

配管内温度分布測定では測温抵抗体を用いた凍結判断を行うため、事前試験として試薬が凍結に至るまでの温度変化を観察し、試薬が凍結した際の測温抵抗体が表示値と文献値との比較確認を行った。また、事前試験の結果を以降の配管内温度分布測定時における評価の参考とした。

試験内容としては、試薬を注入したPFA製メスシリンダーに測温抵抗体を挿入し、このメスシリンダーを液体窒素が入ったデュワー瓶に入れ凍結させる際の温度変化データの記録である。

### 4.3 事前試験結果

水および苛性ソーダの事前試験の結果を以下に示す。

#### 4.3.1 水凍結

水を凍結させた結果、文献値の凝固点 0°Cに対して測温抵抗体が表示した時に凍結が始まり、その後急激な温度降下が見られたため、完全な凍結に至ったことを確認した。図5に事前試験における水の温度測定結果を示し、図6に事前試験において凍結させた水の外観を示す。

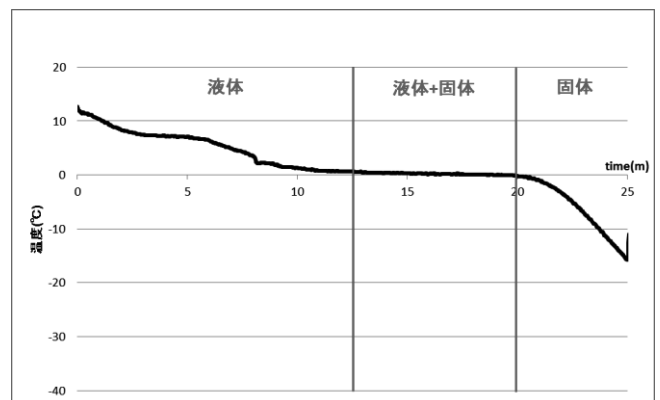


図5 事前試験における温度測定結果(水)

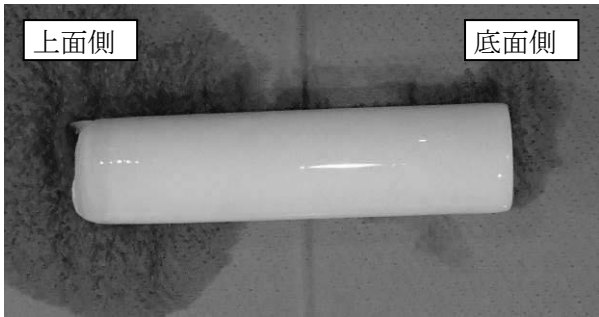


図6 凍結した水の外観

#### 4.3.2 苛性ソーダ凍結

苛性ソーダを凍結させた結果、 $-2^{\circ}\text{C}$ 程度から液体と固体の混合状態となり、 $-6^{\circ}\text{C}$ 程度から急激な温度降下が始まったため、苛性ソーダが完全に凍結したことを確認した。図7に事前試験における苛性ソーダの温度測定結果を示し、図8に凍結させた苛性ソーダの外観を示す。

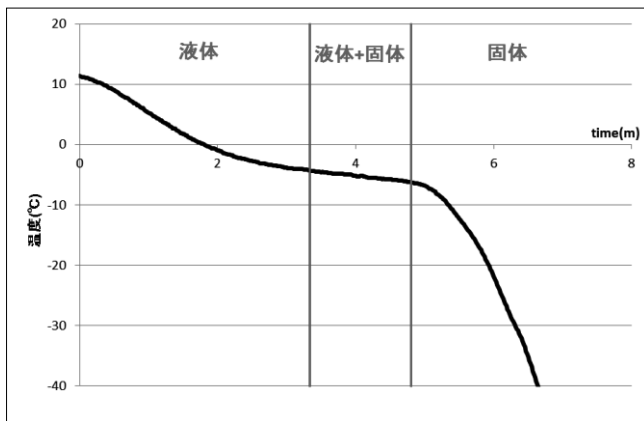


図7 事前試験における温度測定結果(苛性ソーダ)

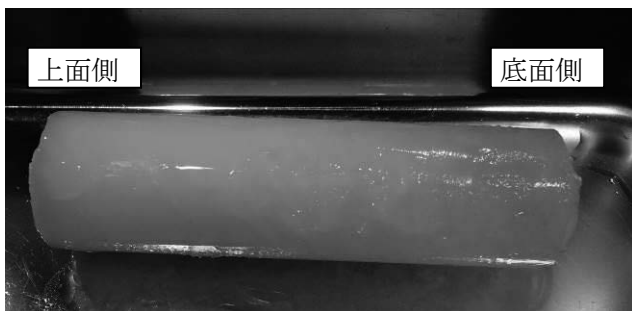


図8 凍結した苛性ソーダの外観

#### 4.4 試験方法

試薬系統配管アイスプラグ試験における配管内温度測定方法を以下に示す。

##### (1) 準備作業

配管内温度分布測定装置に試薬を注入し、装置内を試薬で満たす。

##### (2) アイスボックスの設置

アイスボックスを2分割し、凍結対象となる配管を挟み込むように設置する。図9にアイスボックスの設置状況を示す。

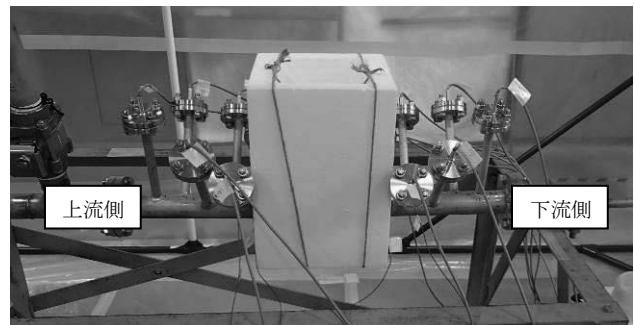


図9 アイスボックス設置状況

##### (3) 液体窒素の投入

液体窒素を配管が十分浸る高さまで投入し、データロガーによるデータの取集を開始する。

##### (4) 凍結判断

表4に示す凍結判断基準を用いて、凍結判断を行う。

表4 凍結判断基準

項目	判断基準
液体窒素	沸騰状態が収束したこと
配管内温度	凝固点以下であること

##### (5) 凍結確認

アイスプラグに止水上有害な貫通部等が無いことを確認するために装置内を $0.1\text{MPa}$ に加圧し、液位確認ラインにおける変化がない事を以て凍結確認を行う。

##### (6) 機能担保確認

液体窒素が供給できなくなった場合を想定し、アイスボックスから液体窒素の抜取りを行い、装置下流側の試薬の液抜きを実施した後、15分間の系統加圧を行い、アイスプラグが崩壊しないことを確認する。

## 4.5 試験結果

### 4.5.1 水凍結試験結果

配管内流体を水としたときのアイスプラグ試験時における配管内の温度変化を図 10 に示す。

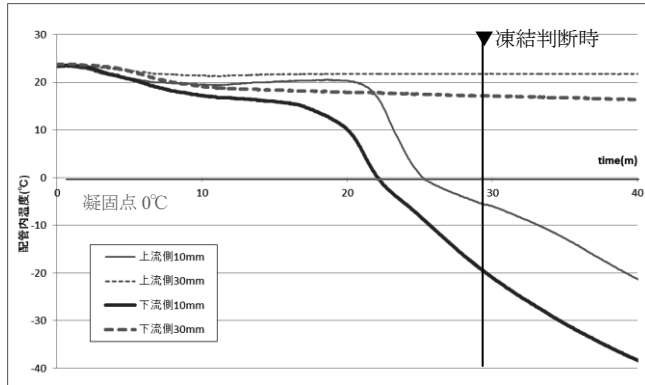


図 10 配管内温度変化(水)

水の凝固点である 0°C に至った点はアイスボックスから 10mm 離れた測定点のみであったため、この 2 点が凍結判断時のアイスプラグの凍結範囲と判断した。図 11 に凍結判断時の配管内外温度分布を示す。

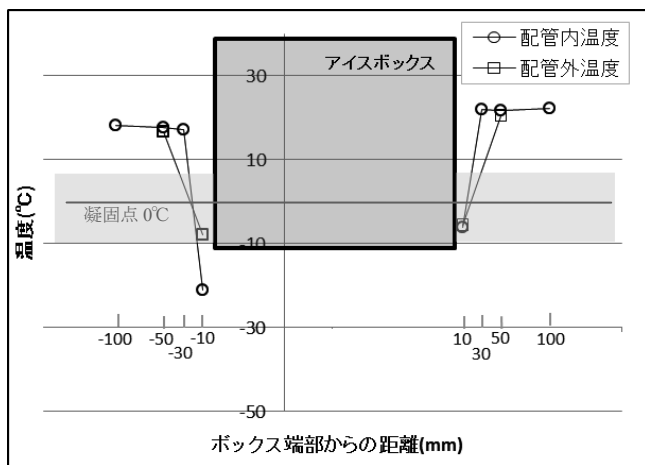


図 11 凍結判断時における温度分布(水)

凍結確認および機能担保確認において、問題がないことから、アイスプラグの全長は約 270mm~310mm であると考えられる。

### 4.5.2 苛性ソーダ凍結確認試験結果

配管内流体を苛性ソーダとしたときのアイスプラグ試験時における配管内の温度変化を図 12 に示す。

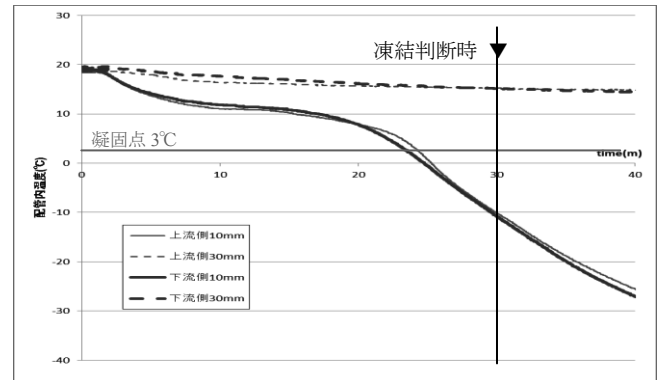


図 12 配管内温度変化(苛性ソーダ)

苛性ソーダの凝固点である 3°C に至った点はアイスボックスから 10mm 離れた測定点のみであったため、この 2 点が凍結判断時のアイスプラグの凍結範囲と考えられる。図 13 に凍結判断時の配管内外温度分布を示す。

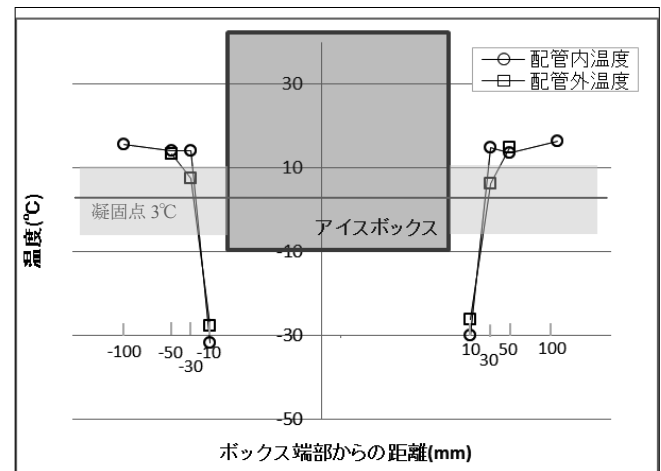


図 13 凍結判断時における温度分布(苛性ソーダ)

凍結確認および機能担保確認において、問題がないことから、アイスプラグの全長は約 270mm~310mm であると考えられる。

#### 4.6 考察

苛性ソーダ凍結時の配管内温度と表面温度について、図 14 に示す。配管表面(天側)と配管内部の温度指示値が近い値となっていたことから、配管内流体が苛性ソーダの系統については、配管表面温度(天側)の温度指示値を配管内の温度状況確認に用いることができるものとする。ただし、配管表面温度(天側)を用いて凍結判断を行うためには、安全側に考えて、配管表面(天側)温度に 10 °C 足した値を配管内温度と考えた上で判断基準の一つとして利用可能と考える。

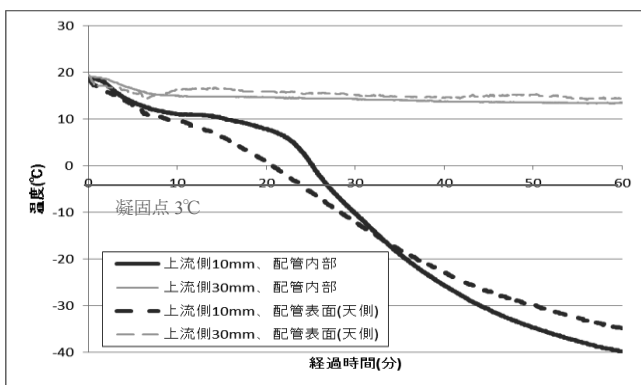


図 14 苛性ソーダ凍結時の配管内温度と表面温度について

#### 5. まとめ

試薬系統配管を実規模のモックアップ装置を用いて装置内に注入した各種試薬(水、苛性ソーダ)を凍結させる際の配管内温度分布測定を実施し、アイスプラグの凍結完了判断をした時の凍結範囲および配管表面温度と凍結状況の関連性を確認した。

各試薬のアイスプラグ試験時における配管内温度分布測定を実施したところ、表 5 に示す結果が得られた。また、苛性ソーダ凍結時の配管表面(天側)温度と配管内部の温度との関連性を確認することができた。

今後のアイスプラグ施工技術開発の展開に向けて、モックアップ試験において硝酸が凍結に至るまでの温度変化を確認すると共に、実機への適用に向けて想定される配管や装置などのレイアウトを考慮した試験を行い、その信頼性、安全性を高めていきたい。

表 5 試験結果のまとめ

試験条件	試薬	水	苛性ソーダ
	濃度	—	13.6 N
	配管径	40A	
	ボックス内寸	182 mm	
	施工気温	30 °C	
試験結果	アイスプラグ長さ	270~310 mm	270~310 mm
	耐圧性能	0.9 MPa	0.9 MPa

#### 参考文献

- [1] 化学大辞典編集委員会、“水酸化ナトリウム”、化学大辞典 5、1963、pp32-33、1005