

Ice 2 供試体の開発

島岡 太郎 (JSF), 中坪 俊一 (北大), 吉崎 泉 (JAXA), 曾根 武彦 (JAMSS), 友部 俊之 (IA), 真木 孝雄 (オリンパス), 古川 義純 (北大)

Development of Ice 2 Cell

Taro Shimaoka*, Shunichi Nakatsubo, Izumi Yoshizaki, Takehiko Sone, Toshiyuki Tomobe, Takao Maki, Yoshinori Furukawa

* Japan Space Forum (JSF), 3-2-1, Kandasurugadai, Chiyoda, Tokyo 101-0062

E-Mail : taro@jsforum.or.jp

Abstract : The brand-new cell cartridge "Ice 2 Cell" attached the Solution Crystal Observation Facility (SCOF) settled in the Japanese Experiment Module "KIBO" were developed in order to carry out the planned microgravity experiments on ice crystal growth in supercooled antifreeze glyco protein (AFGP) solutions. Precise measurements of growth rates of ice crystals in AFGP solutions under the microgravity environment are expected to perform by using Ice 2 Cell. The specifications of Ice 2 Cell are introduced briefly in this report.

Key words; Microgravity experiment, Japanese Experiment Module, Ice Crystal, AFGP

1. はじめに

国際宇宙ステーション「きぼう」(以下, JEM)における結晶成長実験として実験テーマ「生体高分子の関与する氷結晶成長-自励振動成長機構の解明-」(以下, Ice Crystal 2)が2008年に採択された。

本実験に係る実験試料を含む供試体(後述)は, 2012年夏期に打上が計画されている宇宙ステーション補給機「こうのとり」3号機に搭載されてJEMに運ばれ, 2012年末から2013年にかけて軌道上実験が実施される予定である。

供試体開発は2012年1月現在も進行中であるが, ここではこれまでの供試体開発の概要に関して述べる。

なお, 本供試体は, 2008年から2009年にかけて軌道上実験を実施した「氷結晶成長におけるパターン形成」(以下, Ice Crystal)用に開発された供試体Ice 1セルをベースとしている。

2. 実験テーマの概要

本実験テーマは, マクロ分子の関与する結晶成長機構の本質である二段階可逆吸着モデルの実験的検証を目的としており, 主に以下の特色を持つ。

- 1) 不凍(糖)タンパク質を混入させた水からの氷結晶成長
- 2) 成長機構の本質である自励振動結晶成長(結晶成長速度の振動)に着目
- 3) 自励振動を説明する二段階可逆吸着モデル(分子吸着の完全/不完全性など)の検証
- 4) バイオミネラリゼーション機構解明への発展

本実験の目的を達成するためには, 氷結晶表面の成長ステップの挙動/成長速度の観察/測定, お

よび, 結晶厚みの時間変化の測定が不可欠であり, 次項に示す供試体設計における必要仕様が策定された。

3. 供試体の特徴

まず「供試体」を定義する。

供試体とは, JEMに搭載されている実験装置(本実験では, 溶液結晶化観察装置, 以下 SCOF)に搭載されるテーマ固有の機能を持つユニットを指し, 本実験の様に, 試料やセルだけでなく, 観察系や駆動系を有するものもある。

本実験に使用する供試体は, Ice 2セルと呼ばれる。Fig. 1にその概要を模式的に示す。

Ice 2セルは大きく試料セル部と観察系に分かれる。試料セル部には, 結晶成長セル, 核生成セルの他, セル駆動系が含まれる。観察系には, 位相差顕微鏡, 反射型Mc干渉顕微鏡, および, 結晶方位確認用観察系が含まれる。

核生成セル/結晶成長セルには試料溶液(不凍糖タンパク質を混入させた水)が満たされ, 各々ペルチェ素子により温度制御が可能である。

核生成セルを急冷することで生じた結晶核は, ガラスキャピラリーを通して, あらかじめ所定の過冷却度に設定された結晶成長セルに出現した後, 成長する。この様子を上記3種類の光学系で観察を行う。

Ice 2セルに必要とされる主な仕様をTable 1に示す。本表ではIce 1セルとの対比をも行った。

Ice 2セルに必要とされる仕様の中で, Ice 1との比較においてポイントとなるものは以下の通りである。

- 1) 最も重要な観察系が反射型のMc干渉顕微鏡に

なったことにより，結晶方位/位置の精密な制御がリアルタイムで必要となった．従って，核生成セルおよび結晶成長セル共に駆動機構が必要である．

- 2) 核形成セル/結晶成長セルに駆動機構を備えることにより，冷却時に必要な排熱に関する熱パスに乖離面が生じるため，排熱性/冷却性能の向上が必要である．
- 3) 試料を融点の低い軽水としたことにより，冷却性能の向上が必要となる．
- 4) 反射型 Mc 干渉顕微鏡に関して，試料光がきわめて反射率の低い氷結晶表面であるため，参照光をも含めて光学系の緻密な最適化を必要とする．

次項では，ほぼ完成に至った Ice 2 セル軌道上実験モデル（以下，PFM）の概要と，上記ポイントを踏まえた設計結果について述べる．

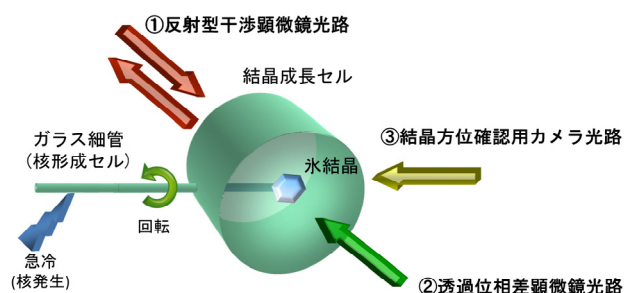


Fig. 1 Ice 2 セルの概要

Table 1 Ice 2 セルに必要な主な仕様
(Ice 1 セルとの比較)

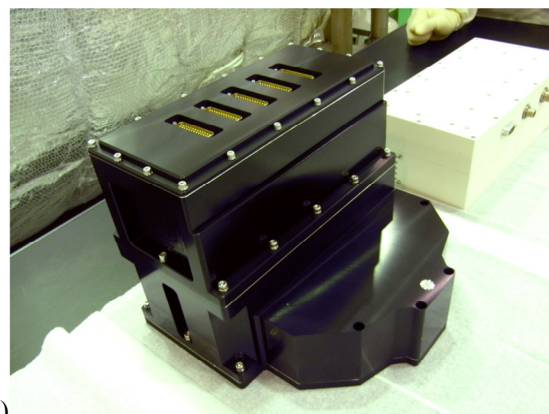
項目		Ice 1	Ice 2
試料		D ₂ O (m.p.=3.82°C)	H ₂ O+AFGP (m.p.~0°C)
結晶成長セル	内部形状	円筒形	球形
	温度制御	0~25°C	-3~25°C
	位置制御	固定	Y 軸方向駆動 (cmd 制御)
核生成セル	内部形状	液槽 +キャピラリ	キャピラリ
	温度制御	-10~25°C	-20~25°C
	位置制御	固定	回転駆動 (cmd 制御)
観察系	SCOF	Mz(透過)	-
		AM	-
	供試体内	Mz(透過)	Mc(反射)
		透過明視野 (透過)	位相差(透過)
		-	結晶方位確認

4. 供試体開発の結果

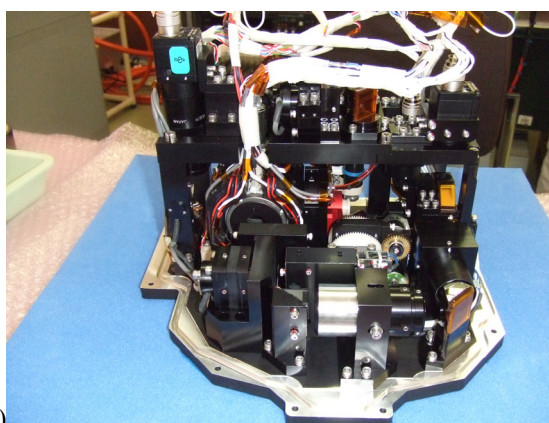
Fig. 1 は Ice 2 セル PFM の外観および内部写真である．厳密には，Ice 2 セルは Fig. 1(a)の黒色外

観をもつ筐体他，回路ボックス，および，ケーブルで構成されるが，ここでは主要機能を有する筐体部分を Ice 2 セルと称している．

Ice 2 セルは SCOF に搭載可能な寸法（縦 250mmX 横 250mmX 高 210mm 程度）と I/F を有する．



(a)



(b)

Fig. 1 Ice 2 セル (PFM)

(a) 外観：縦 250mmX 横 250mmX 高 210mm 程度

(b) 内部：中央左の白色ハーネスがつながっている部分が試料セル部

(1) 試料セル部

Fig. 2 に試料セル部の外観鳥瞰図とカット図面を示した．前項を受けた主な設計のポイントは以下の通りである．

- 1) 結晶成長セル内面形状を可能な限り球面とした．これは，Ice 1 セル時の円筒形に対して，解析時に仮定する場の球対象性をより担保する目的である．
- 2) 結晶成長セルには並進，核生成セルには回転の駆動機構を採用した（前述）．
- 3) 両セルの排熱ブロック設計を最適化した．これは前述の通り，セル駆動機構の採用により排熱側熱パスに乖離面が生じたため，動的な排熱だけではなく，排熱ブロックの熱容量増加による排熱性能向上を目している．特に-20°C 程度の

冷却が必要とされる核生成セルに関しては、3段階の排熱ブロックを採用して熱容量の確保を図った。

- 4) 核生成セルの冷却素子 (ペルチェ素子) を 2 組にして冷却性能の向上を図った (Ice 1 時は 1 組)。
- 5) 核生成セルの冷却板有効面積をエンベロープの許す限り拡大し、核発生確率の向上を図った。

これらの設計により、JEM で供給される冷却水想定温度 (20°C)においても、ほぼ 100%の確率で核発生/結晶生成に至ることが地上試験で確認されている。

Fig. 3 に地上試験時の温度プロファイルの一例を示す。図中、TS1~TS5 は結晶成長セル温度、TS3 および TS4 が核生成セル温度を示す。結晶成長セルの設定過冷却度は-1K である。核生成セル容積が極めて小さいため明瞭ではないが、-15°C 近傍で核発生に伴う潜熱が確認されている。

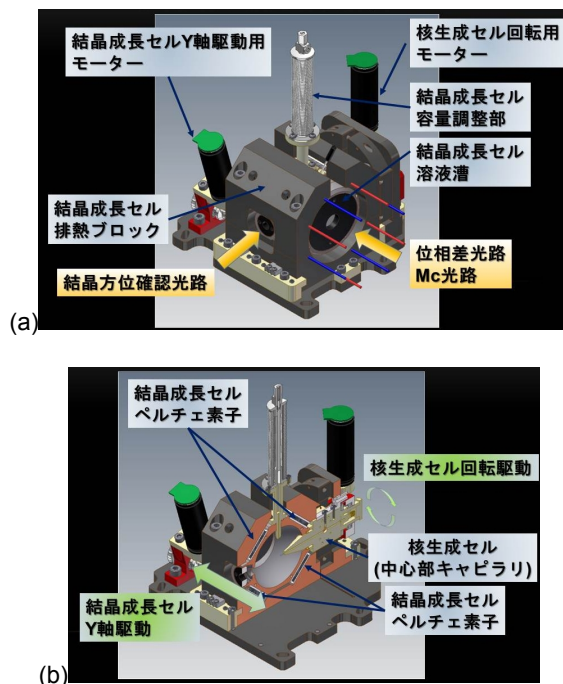


Fig. 2 試料セル部
(a) 外観鳥瞰図 (b) カット図面

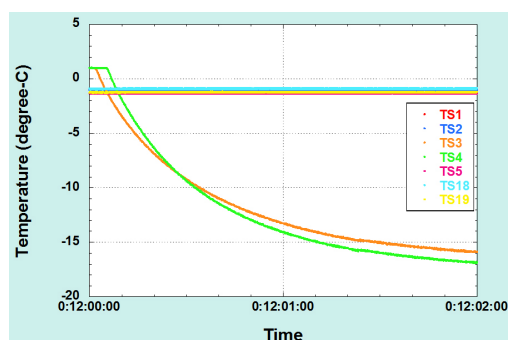


Fig. 3 Ice 2 セル PFM 試験時に取得した冷却温度プロファイルの一例

(2) 観察系

観察系設計の最大のポイントは、Fig. 4 に示した通り、以下の 2 点となる。

- 1) Mc 干渉計顕微鏡の試料光となるのが、極めて反射率の低い (ガラス表面の約 1/1000) 氷結晶表面での反射光であるため、参照ミラーを含む種々の光学設計を最適化した。
- 2) 一部共通光路を有する位相差顕微鏡と Mc 干渉顕微鏡とをで同時に結晶表面を観察するために (Ice 1 セルにおいては 2 種類の観察を交互に間欠切替を行って画像取得を行った)、極めて限られた筐体エンベロープの範囲内で、波長分散型のハーフミラーなどにより設計の最適化を図り、2 法の同時観察を可能な設計とした。

Fig. 5 に地上試験時の Ice 2 セル PFM で取得した観察画像の一例を示す。位相差顕微鏡画像では結晶表面に明瞭な成長ステップが認められ、Mc 干渉顕微鏡画像では明瞭な縞画像が得られ、結晶厚みの時間変化だけでなく、結晶表面/裏面の成長速度差を可視化することに成功した。

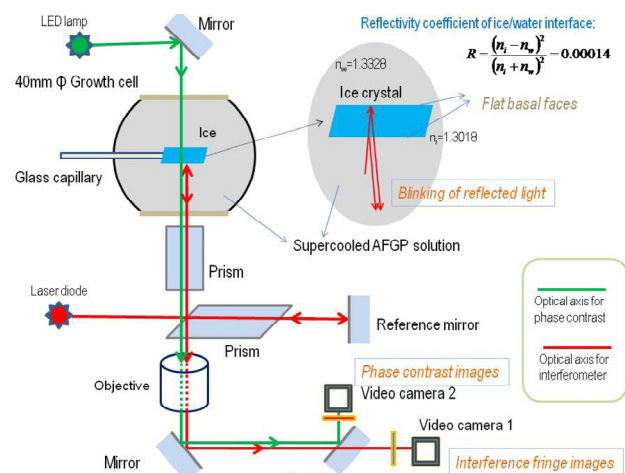


Fig. 4 Ice 2 光学系概念図

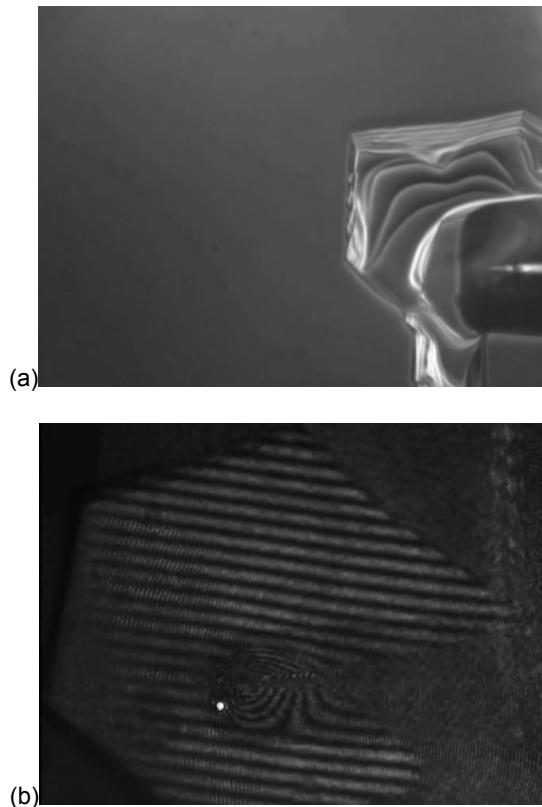


Fig. 5 Ice 2 セル PFM 試験時に取得した観察画像の一例

(a) 位相差顕微鏡画像

(b) Mc 干渉顕微鏡画像

5. おわりに

Ice 2 セルは 2012 年 3 月に完成予定である。その後、地上における適合性確認試験、1G リファレンス試験などの各種試験に供された後に、クリーンアップ/軌道上実験用試料の注入/最終光学調整を経て、冒頭にも述べた通り、2012 年夏に JEM に輸送される計画となっている。

軌道上実験は、2012 年から 2013 年に実施される予定である。

参考文献

- 1) 古川義純, 他; 氷の結晶成長における形態不安定化—ISS「きぼう」実験—, 宇宙利用シンポジウム(第26回), pp.1 (2010).