

# 速報:「きぼう」での結晶成長実験—氷結晶成長におけるパターン形成—

北海道大学 古川義純、学習院大学 横山悦郎、JAXA 吉崎泉、JSF 島岡太郎  
JAMSS 曾根武彦、安部裕喜子、IHIエアロスペース 友部俊之、オリンパス 真木孝雄、山本明日佳

## Rapid Communication: Crystal Growth Experiments in ISS-KIBO — Pattern Formation during Ice Crystal Growth —

Yoshinori Furukawa<sup>1</sup>, Etsuro Yokoyama<sup>2</sup>, Izumi Yoshizaki<sup>3</sup>, Taro Shimaoka<sup>4</sup>, Takehiko Sone<sup>5</sup>, Yukiko Abe<sup>5</sup>,  
Toshiyuki Tomobe<sup>6</sup>, Takao Maki<sup>7</sup> and Asuka Yamamoto<sup>7</sup>  
<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>Gakushuin University, <sup>3</sup>JAXA, <sup>4</sup>JSF, <sup>5</sup>JAMSS, <sup>6</sup>IHI Aerospace, <sup>7</sup>Olympus  
E-mail: frkw@lowtem.hokudai.ac.jp (Y. Furukawa)

Abstract: Crystal growth experiments of ice in supercooled D<sub>2</sub>O water in ISS-KIBO have started at the 2nd of December, 2008. Explanations about the experiments and the preliminary results are given briefly.

### 1. はじめに

国際宇宙ステーション「きぼう」での2つ目の実験として、「氷結晶成長におけるパターン形成」が、2008年12月2日に開始された。実験は、2009年3月中旬まで継続して実施されるが、現段階での実験状況について速報する。

### 2. 宇宙実験の必要性

物質の2相を隔てる境界面は、系が非平衡状態におかれると時間とともに移動し、複雑なパターンを進展させる。結晶成長に伴う相境界のパターン発展はその最も典型的な例であり、その中でも過冷却水中で自由成長する氷結晶のパターン形成は最も良く知られている。氷結晶は、成長初期には薄い円盤状であるが、やがて円盤の縁で形態不安定化が起こり、最終的に雪の結晶と同じように六方対称の発達した樹枝状結晶となる。このような形態不安定化は、界面に生じた凹凸が潜熱拡散による不安定化効果(ラプラス不安定)と界面曲率効果による安定化効果(ギブス・トムソン効果)との相互作用により、ある決まった波数のみを選択されて発達することで起きる。

氷結晶の場合は、薄い円盤結晶の縁でのみ形態不安定化が起こるために、従来は二次元結晶とみなした形態不安定化モデルで説明されてきた。しかし、結晶形態の詳細な観察の結果、たとえ薄くても実際には三次元形態であり、二次元モデルではもはや説明困難であることが示された。さらに、円盤の縁は完全に荒れたラフな界面であるのに対して円盤部分はスムーズな界面であり、成長機構が異なる。このため、氷結晶の形態不安定を説明するには、この異方性を考慮した新しいモデルの構築が必要で、その検証を行うには、対流などの擾乱を完全に排除した微小重力環境で結晶成長実験を行うことが重要である。

### 3. 供試体の構造

本実験に使用する供試体は、“Ice Crystal Cell”と呼ばれるもので、溶液結晶化観察装置(SCOF)に取り付け可能である。Fig.1は、打ち上げ直前の最終調整が終わった時点での供試体の外観写真である。この供試体の中には、過冷却水からの氷結晶成長装置と結晶の成長を観察するための干渉顕微鏡システ



Fig.1 Ice Crystal Cell. 24 cm width, 24 cm depth, and 20 cm height. Ice growth cell and interference microscope system are assembled inside the system.

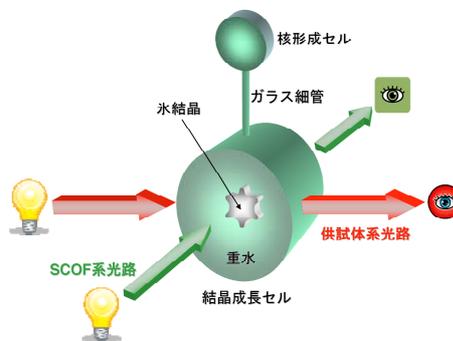


Fig.2 Basic concept of the ice growth cell, which is composed by a growth cell, a nucleation cell and a glass capillary. Since it is not possible to prepare a seed crystal inside the growth cell in case of ice crystal growth, the nucleation cell is very important to start the ice growth. The volume change by ice crystal growth may increase the pressure inside the growth cell and break the glass windows. To prevent this event, a pressure release system is also assembled.

ムが組み込まれている。

氷結晶成長装置の基本概念は、Fig.2 に示される。成長セル(24mm φ、24mm 厚)と核生成セル(10mm φ、1mm 厚)で構成され、両者は外径約 1mm のガラス毛细管で結合されている。両方のセルは、ペルチエ素子によりそれぞれ独立に温度制御可能である。この装置に重水(D<sub>2</sub>O)を充填し、まず成長セルの温度を所定の過冷却温度になるまで冷却し、過冷却水を生成する。一様な過冷却が達成された後、核生成セルを急速に冷却し、氷結晶を核生成させる。生成した氷結晶は、毛细管内部を成長する際に競争により淘汰され、最終的に 1 個の結晶粒のみが生き残る。この結晶粒が毛细管先端に到達すると、成長セル内で氷結晶の自由成長が開始する。氷結晶の成長過程は、Ice Crystal Cell に内蔵された Maki 型干渉顕微鏡と SCOF の 2 波長マツハツェンダー型顕微干渉計により直交する 2 軸でその場観察される。この装置で取得された干渉画像と明視野画像は、画像取得装置(IPU)を経由して地上にリアルタイムで送信される。

この装置の特徴は、可動部分がなく温度の制御のみで結晶成長実験が可能なことである。このため、装置に異常が起りにくい構造となっている。また、装置の温度を結晶の融点以上に上昇させれば、結晶を完全に融解することができる。すなわち、一つの装置で繰り返し何度でも結晶成長実験を行うことができる。

#### 4. Ice Crystal Cell の打ち上げと実験開始

2008 年 10 月中旬から末にかけて、NASA ケネディスペースセンターにおいて、装置への試料の充填と最終調整が実施され、2008 年 11 月 14 日午後 7 時 55 分(米国東部時間)にスペースシャトルエンデバー(STS126)によって、ISS に向けて打ち上げられた。装置の SCOF への取り付け作業が終了した後、ISS クルーの就寝時間を狙って、結晶成長実験が 2008 年 12 月 2 日早朝(日本時間)からいよいよ開始された。

Fig.3 の連続写真は、最初に行われた実験で観察された氷結晶の成長過程を示す。過冷却温度は、0.5°C である。この後、2009 年 3 月まで実験は継続され、さまざまな過冷却温度での結晶成長過程の観察を 100 回以上繰り返す予定である。現在(2009 年 1 月 14 日)までに、実験は全体のほぼ 50%が終了した段階にある。実験データの詳細な解析は、すべての実験が終了してから行われるが、地上実験よりも格段に対称性の良い結晶パターンが観察されるなど、大きな成果が得られると予測される。

**謝辞：**本宇宙実験は、本報告の著者以外に、極めて多くの皆様のご協力によって実施されている。数が多すぎて、一人ひとりのお名前を記す事は不可能だが、すべての関係者の皆様に心から感謝申し上げます。

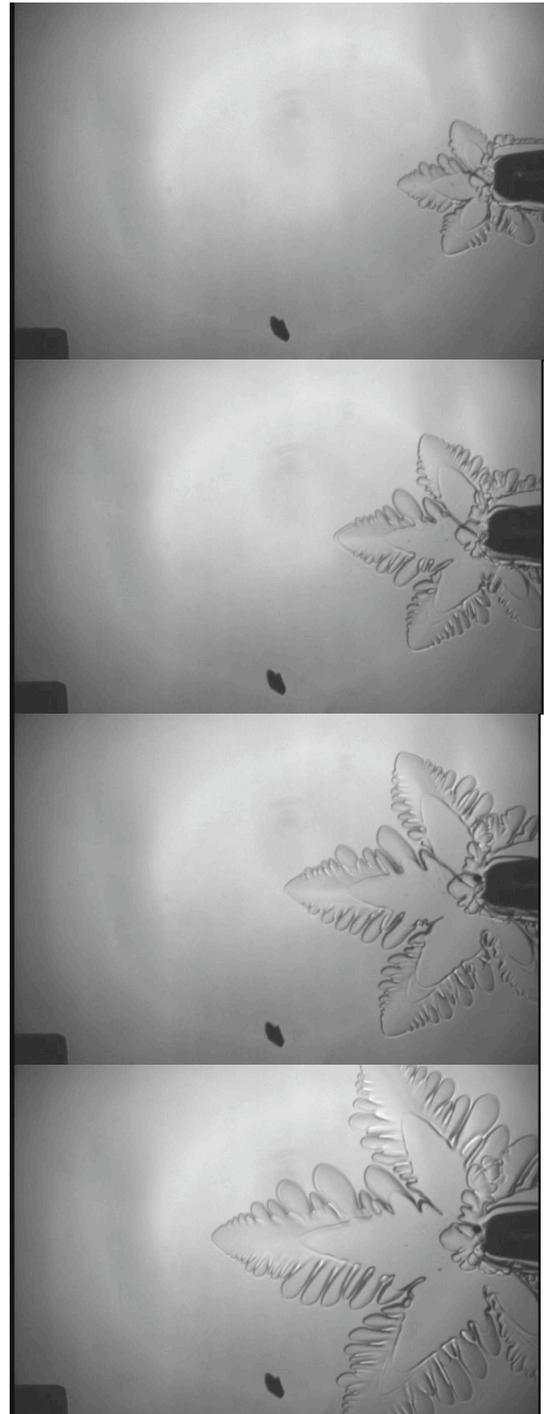


Fig.3 Time sequence pictures of an ice crystal grown in the space at the first time. Initial supercooling was 0.5°C. Actual temperature of water was +3.3°C, because the melting point of D<sub>2</sub>O is 3.8°C. Width and height of each image are 6.4mm and 4.8mm, respectively. The ice crystal is growing at the tip of glass capillary. An ice crystal has 6 arms of dendrite pattern, but only three arms can be grown due to the effect of glass capillary. Black image at the central bottom is a dust particle. There is not any effect for ice growth.