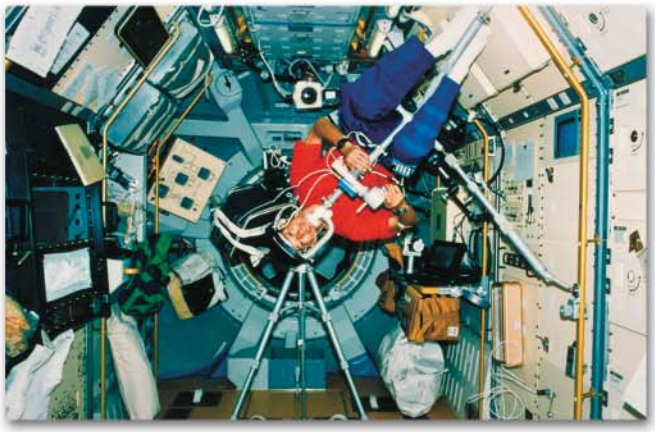
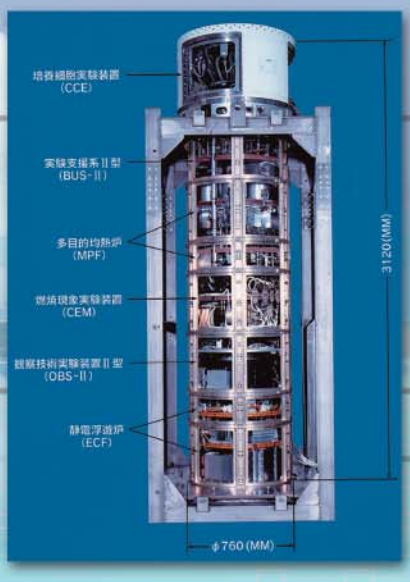
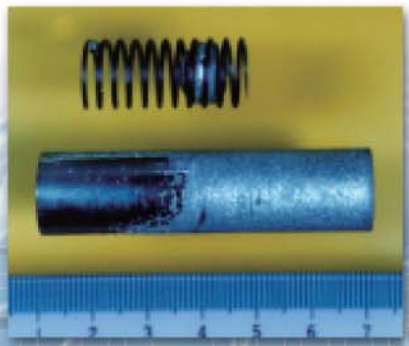


ประมวลรายงานเกี่ยวกับการทดลองทางอวกาศของประเทศญี่ปุ่น
-ความสำเร็จ และ บทเรียนที่ได้รับ-

บรรณาธิการ: ฮิโรโอะ อิโนะคุจิ

บทย่อประเด็นสำคัญ





EXECUTIVE SUMMARY

คำนำ

เอกสารเล่มนี้เป็นบทย่อประเด็นสำคัญของประมวลรายงานเกี่ยวกับการทดลองทางอวกาศของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งถูกตีพิมพ์โดยสมาคมการใช้งานสภาพไร้น้ำหนักแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan Society of Microgravity Application) ในเดือนมีนาคม ค.ศ.2005 รายงานดั้งเดิมซึ่งถูกเขียนขึ้นมาเพื่อนักวิจัยชาวญี่ปุ่นนั้นเป็นภาษาญี่ปุ่นและมีความยาวมากกว่า 400 หน้า บทย่อประเด็นสำคัญภาษาไทยนี้ได้รับการตีพิมพ์เพื่อที่จะกระจายข้อมูลให้เป็นวงกว้างมากขึ้น เราหวังที่แบ่งปันความยินดีต่อความพยายามสำคัญๆในงานวิจัยซึ่งอาศัยสภาวะอวกาศกับบุคคลอื่นนอกเหนือไปจากผู้ชำนาญการในด้านนี้เท่านั้น

ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดไฟล์ PDF ของรายงานฉบับดั้งเดิม (ภาษาญี่ปุ่น) ได้ที่
http://idb.exst.jaxa.jp/jdata/02494/200509J02494000.html

สารบัญ

Life Science

ทำไมต้องศึกษาชีววิทยาในอวกาศ?
- วัตถุประสงค์ และวิธีการวิจัยของวิทยาศาสตรเกี่ยวกับชีวิตในอวกาศ 02

สรุปความสำเร็จที่สำคัญเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของชีวิตในอวกาศ 04

ความสำเร็จหลักๆ 05

เครื่องมือและเทคโนโลยีด้านการทดลอง
บทเรียนที่ได้รับ 08

ประเด็นการค้นคว้าด้านวิทยาศาสตร์สิ่งมีชีวิต 09

วัสดุศาสตร์

Material Science

วัตถุประสงค์ของการทดลองในอวกาศ 10

ความสำเร็จหลักๆ 11

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 16

เทคนิคที่ได้จากชุด
การทดลองอวกาศ
ประสบการณ์และบทเรียนที่ได้รับ 16

Life Science 生命科学分野

ทำไมต้องศึกษาชีววิทยาในอวกาศ?

วัตถุประสงค์ของ

การวิจัยเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตในอวกาศ

การขยายกิจกรรมของมนุษย์ไปยังบริเวณภายนอกโลก

- ระบุและเอาชนะปัญหาเกี่ยวกับกิจกรรมของมนุษย์ในอวกาศ

การติดตามกฎธรรมชาติของชีวิต

- วิเคราะห์ปรากฏการณ์ของชีวิตในสภาพที่ไม่ได้รับข้อจำกัดจากสภาพบนพื้นโลก

วิธีการทดลองวิทยาศาสตร์ของสิ่งมีชีวิตในอวกาศ

การนำเอาเทคโนโลยีใหม่ล่าสุดมาใช้ในกิจกรรมของ IIS

- เครื่องวิเคราะห์ที่มีสมรรถนะในเชิงปริมาณสูง และ เครื่องมือนาโนเทคโนโลยี
- การนำตัวอย่างการทดลองทางชีวภาพกลับสู่พื้นโลกเพื่อการวิเคราะห์ระดับแนวหน้า

การใช้ประโยชน์ IIS อย่างเต็มที่

- การสังเกตุพืชและสัตว์ข้ามรุ่น
- การดำเนินการทดลองที่มีความซับซ้อนโดยลูกเรือ
- การศึกษาทางการแพทย์โดยทดลองกับลูกเรือ

ดร.โมริ มะโมะรุ นักบินอวกาศ
กำลังทำการทดลองทางวิทยาศา
สตร์เกี่ยวกับชีวิตในอวกาศ
ในกระสวยอวกาศ (กันยายน
1992)

การคัดเลือกนักบินอวกาศครั้งแรกกระตุ้นให้องค์กรต่างๆ
ของญี่ปุ่นริเริ่มโครงการวิจัยทางชีววิทยาการแพทย์
ขึ้นในปลายปีค.ศ.1970
องค์การพัฒนาด้านอวกาศแห่งชาติของประเทศญี่ปุ่น
(NASDA)
ได้ทำการตรวจสอบหาแนวโน้มในเรื่องยารักษาโรคในอวกาศ
ในยุโรปและอเมริกา
เช่นเดียวกันกับในประเทศรัสเซียซึ่งมีประสบการณ์ในด้านกา
รอยู่อาศัยในอวกาศเป็นเวลานานมากอน
งานวิจัยร่วมที่มีฐานอยู่บนพื้นโลกกับประเทศเหล่านี้และกับ
สถาบันท้องถิ่นได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการพักบนเตียงเป็น
ระยะเวลานาน และโดดเดี่ยว
และภายใต้สภาวะไร้น้ำหนักระยะสั้น
โดยการบินเป็นโคงพาราโบลา
การทดสอบกรรมวิธีทางด้านวัสดุครั้งแรก
(FMPT/SL-J:STS-47, 1992),
ห้องปฏิบัติการทดลองสภาวะไร้น้ำหนักนานาชาติแห่งที่สอง
(IML-2:STS-65, 1994), Nuerolab (STS-90,1998) และ
STS-95 (1998)
เป็นการทดลองขนาดเหมือนจริงบนกระสวยอวกาศ
มีการทดลองทางด้านชีววิทยาและการแพทย์ทั้งหมด 96
การทดลองโดยองค์กรทองถิ่นจนกระทั่งปี 1998 นอกจากนี้
ผู้ตรวจสอบชาวญี่ปุ่นบางคนได้มีส่วนรวมในโครงการของตาง
ประเทศด้วย ได้มีการเรียนรู้วิธีการทดลองในอวกาศ อุปกรณ์
การพัฒนา เทคโนโลยีที่ใช้ดำเนินการผ่านทางกิจกรรมเหล่านี้
และ
ผลที่ได้ถูกนำไปจัดอันดับกับประเทศที่พัฒนาแล้วในการทำ
วิจัยด้านการใช้ประโยชน์ในอวกาศ

การทดลองเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของชีวิตในอวกาศ

เที่ยวบิน/ภารกิจ	ยานพาหนะ	องค์กร	วันที่	จำนวนเรื่องที่ศึกษา
Gemini 3	Manned Capsule	NASA・Kondo*	1965.3	(1*)
Gemini 11	Manned Capsule	NASA・Kondo*	1966.9	(1*)
COSIMA 2	Capsule	Fujitsu, Ltd.	1989.9	1
COSMOS-2044	Capsule	USSR・Ohira*	1989.9	(1*)
MIR	Space Station	TBS	1990.12	3
MIR	Space Station	JGC Corp.	1991.5	1
STS-40 (GAS)	Space Shuttle	Sakata Seed Corp.	1991.6	1
STS-42 (GAS)	Space Shuttle	Suntory Ltd.	1992.1	1
MIR	Space Station	Fujitsu Ltd.	1992.1	1
STS-42 (IML-1)	Space Shuttle	NASDA	1992.1	1
STS-47 (FMPT)	Space Shuttle	NASDA	1992.9	15
MIR	Space Station	JGC Corp.	1993.5	1
STS-59 (GAS)	Space Shuttle	MITILS	1994.4	1
STS-65 (IML-2)	Space Shuttle	NASDA	1994.7	10(3**)
STS-64 (GAS)	Space Shuttle	Green Cross	1994.9	1
MIR	Space Station	Kyoto Univ.	1994	1
MIR	Space Station	Univ. Tokyo	1994	1
SFU	Free Flyer	ISAS	1995.3-96.1	1
STS-72 (GAS)	Space Shuttle	Fujitsu Ltd.	1996.1	1
STS-77	Space Shuttle	Obayashi Corp.	1996.5	(1*)
STS-79 (S/MM-4)	Shuttle/MIR	NASDA	1996.9	5(1*)
MIR	Space Station	NASDA	1997.2	3
STS-84 (S/MM-6)	Shuttle/MIR	NASDA	1997.5	15
MIR	Space Station	NASDA	1997.7	7
TR-IA#6	Sounding Rocket	NASDA	1997.9	1
STS-86 (S/MM-7)	Shuttle/MIR	Obayashi Corp.	1997.9	(1*)
STS-89 (S/MM-8)	Shuttle/MIR	NASDA	1998.1	7
STS-90 (Neurolab)	Space Shuttle	NASDA	1998.4	1(6*)
STS-91 (S/MM-9)	Shuttle/MIR	NASDA	1998.6	7
STS-95	Space Shuttle	NASDA	1998.1-11	6
TR-IA#7	Sounding Rocket	NASDA	1998.11	1

* นักวิจัยชาวญี่ปุ่นมีส่วนร่วมในโครงการของต่างประเทศในฐานะ นักวิจัยร่วม(ไม่นับรวม)
**หน่วยงานในญี่ปุ่นจัดหาอุปกรณ์ให้นักวิจัยต่างชาติ (ไม่นับรวม)

การทดลองทั้งหมด 96 เที่ยวบิน
ที่ดำเนินการโดยนักวิจัยของสถาบันวิจัยในประเทศ
ในชวงระหวางปี 1989 -1998 แบงตามสาขาของงานวิจัย

สาขาของงานวิจัย	จำนวนเที่ยวบินที่ทำการทดลอง
การทดลองด้านการแพทย์ในอวกาศ	
กลไกด้านชีวภาพโดยทั่วไป	4
การทำงานของระบบเลือดและหัวใจ	2
การทำงานของระบบการทรงตัว	5
การทำงานของโครงสร้างกล้ามเนื้อและกระดูก	3
ชีววิทยาในมีน้ำหนัก	
สัตว์	4
พืช	7
เซลล์และจุลชีพ	10
ชีววิศวกรรม	
ผลึกโปรตีน	16
การผลิตและการทำให้บริสุทธิ์	6
การแผ่รังสีในอากาศ	
เครื่องมือวัดปริมาณการแผ่รังสีในเนื้อเยื่อ	15
ชีววิทยาของการแผ่รังสี	23
อื่นๆ	1

สรุปความสำเร็จที่สำคัญเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของชีวิตในอวกาศ

1 การขยายกิจกรรมของมนุษย์ไปยังบริเวณภายนอกโลก

- การระบุความเสี่ยงของการได้รับอนุภาคคอสมิคที่มีพลังงานสูงและคลื่นรังสีไฟฟ้าแม่เหล็กพร้อมกันเป็นเวลานาน
- กลไกของการเมาอวกาศได้ถูกวิเคราะห์โดยผลการวิจัยระดับสูงเกี่ยวกับปลา

2 การติดตามกฎธรรมชาติของชีวิต

- การค้นพบว่าอนุภาคขนาดเล็กบางอย่างที่มีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก
- การพิสูจน์ความสามารถของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง (Medaka Fish) ที่สามารถคลอดลูกได้ภายใต้สภาวะอวกาศ

3 ความสำเร็จสูงสุดด้านวิทยาศาสตร์ของชีวิตในอวกาศ

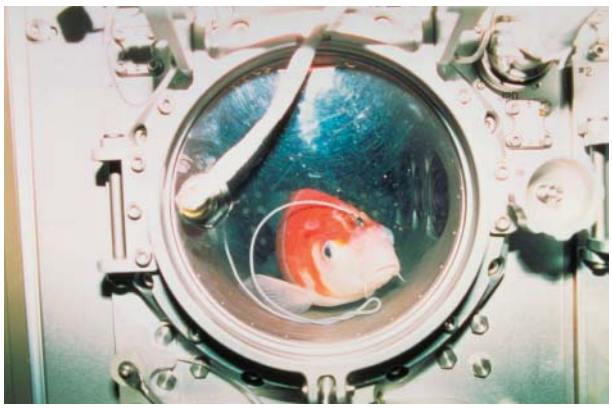
- อุปกรณ์และการดำเนินงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีเกี่ยวกับสัตว์น้ำ นั้นก้าวไปสู่ระดับสูงสุด
- ข้อเสนอวิทยาศาสตร์ของชีวิตในอวกาศ ได้รับการยอมรับโดยคณะนกวิทยาศาสตร์ในระดับนานาชาติใน ISS

4 ความก้าวหน้าของการเทคโนโลยีการทดลอง

- เทคโนโลยีเกี่ยวกับการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตในน้ำสามารถทำให้สัตว์สามารถได้รับการดูแลข้ามรุ่นได้
- ระบบบูรณาการที่รวมการเพาะเซลล์และอวัยวะขนาดเล็กไว้ด้วยกัน
- การตรวจสอบไอออนขนาดใหญ่และนิวตรอนตามสภาวะเวลาที่เป็นจริง (real time) และระบบการตรวจจับนิวเคลียร์

ความสำเร็จหลักๆ

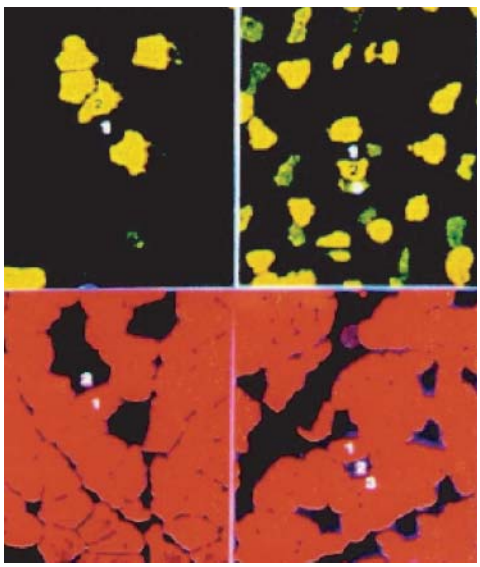
ระบบตรวจจับความรู้สึก



การวิเคราะห์การเมาอวกาศ กับปลา (*Cyprinus carpio*) ใน FMPT (1992)

สัตว์จำพวกนกหรือปลาที่เคลื่อนไหวในที่ว่างสามมิติมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบการทรงตัว
มีการค้นพบว่าปลาจะเคลื่อนที่เป็นวงกลมเมื่อเข้าไปอยู่ในภาวะไร้น้ำหนักในความมืด การตอบสนองต่อแสงที่หลังปลาเป็นการตอบสนองต่อแสงเมื่อปลาทรงตัวแกนแนวดิ่งของลำตัวไปในทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงและแสงซึ่งได้ทำการทดลองบนกระสวยอวกาศ
ผลการทดลองนี้สนับสนุนสมมุติฐานความขัดแย้งของการทรงตัวและการมองเห็นสำหรับการเมาอวกาศ

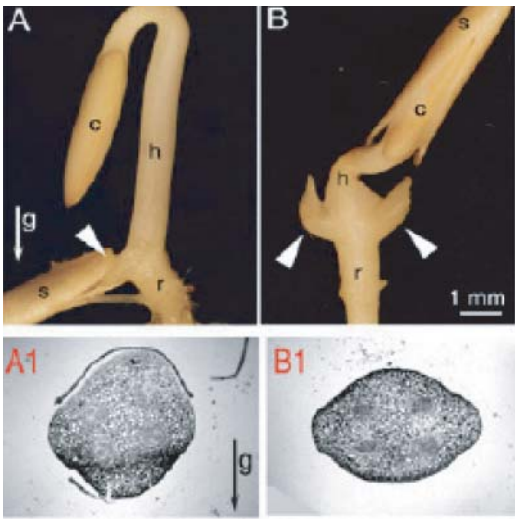
การเสื่อมของกล้ามเนื้อ



ภาพหน้าตัดแสดงการเปลี่ยนแปลงเส้นใยของกล้ามเนื้อที่กระตุกช้าของหนูที่อยู่ในอวกาศเป็นเส้นใยของกล้ามเนื้อกระตุกเร็ว (SLS-2, 1993)

กล้ามเนื้อส่วนที่ต้านแรงโน้มถ่วงหดตัวภายใต้สภาวะไร้น้ำหนักเนื่องจากการสูญเสียการถ่วงน้ำหนักอย่างต่อเนื่อง
การเปลี่ยนแปลงของเส้นใยกล้ามเนื้อที่กระตุกช้าเห็นได้ชัดมากกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อที่กระตุกเร็ว
เส้นใยกล้ามเนื้อที่กระตุกช้าบางส่วนถูกพบเพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของทั้งเส้นใยชนิดกระตุกเร็วและช้า
ภาพประกอบแสดงให้เห็นหน้าตัดของกล้ามเนื้อฝ่าเท้าของสัตว์ที่อยู่ในอวกาศ (ขวา) และที่อยู่บนพื้นโลก(ซ้าย) รูปข้างบนแสดงการเปลี่ยนสีของเส้นใยที่กระตุกเร็ว(2)
และการเปลี่ยนสีของเส้นใยที่กระตุกช้าในรูปข้างล่าง(1) เส้นใยบางอัน (3) มีปฏิกิริยาต่อการเปลี่ยนสีของทั้งเส้นใยที่กระตุกเร็วและกระตุกช้า
การศึกษานี้ได้ถูกดำเนินการเพื่อแสดงธรรมชาติของเซลล์และโมเลกุลในสภาพที่ไร้น้ำหนัก เช่นเดียวกันกับการพัฒนามาตรการป้องกันเช่นการออกกำลังกายอย่างมีประสิทธิภาพ

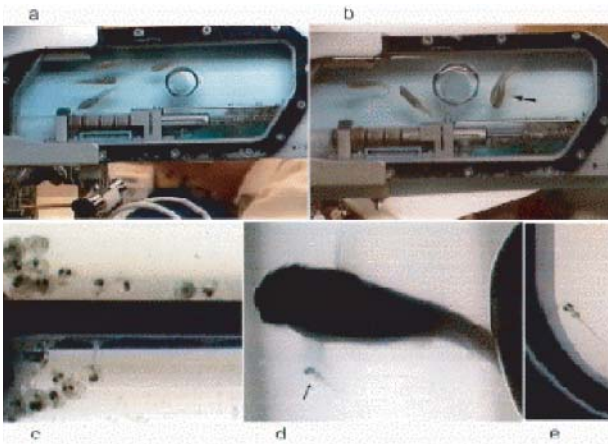
การเจริญเติบโตของพืช และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง



การเกิดยอดของต้นอ่อนของแตงกวาในสภาพไร้น้ำหนัก (SLS-95, 1998)

ต้นอ่อนของแตงกวาสามารถปลูกทั้งบนพื้นดิน (A) และในอวกาศ (B) ได้ ภาพแสดง ยอด (หัวลูกศร) ราก(r) เปลือกหุ้มเมล็ด(s) สวนตอระหว่างรากและใบออน (h) และใบออน(c) รูปด้านล่างแสดงให้เห็นถึง auxin-responsive gene CS-IAA1
ต้นออนของแตงกวาพัฒนายอดเดี่ยวในด้านที่ต่ำกว่า การทดลองในอวกาศเปิดเผยให้เห็นว่า ต้นออนมีศักยภาพในการพัฒนายอดสองด้านโดยธรรมชาติ และด้านบนนั้นถูกข่มด้วยแรงดึงดูดซึ่งช่วยกระตุ้นการเกิดยอดจากด้านล่าง
การทดลองในอวกาศทำให้เกิดแนวความคิดที่ว่าพืชมีศักยภาพหลายอย่างซึ่งถูกปกปิดโดยแรงโน้มถ่วง มีเพียงสวนนอยเท่านั้นที่แสดงออกมาภายใต้สภาพพื้นดินปกติ มีการคาดหวังว่าจะมีการค้นพบศักยภาพบางอย่างของสิ่งมีชีวิตบนโลกผ่านการทดลองในอวกาศในอนาคต

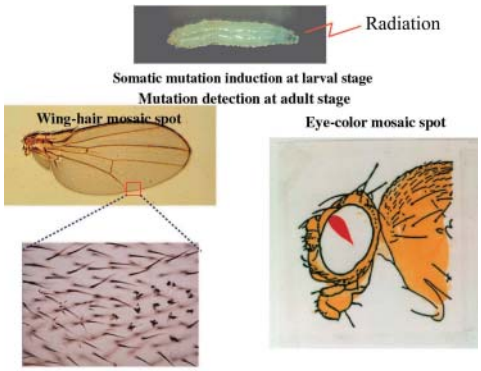
พัฒนาการของสัตว์

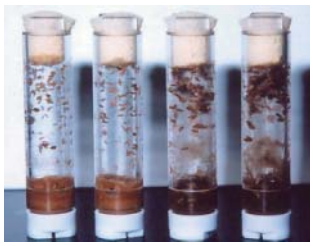


ภาพแสดงความสามารถในการเจริญพันธ์ของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังบนยานอวกาศ (ML-2,1994)
a: ปลา Medaka (*Oryzias latipes*) บนยานอวกาศ
b: การวางไข่และการฉีดน้ำเชื้อเพื่อให้ตั้งท้อง
c: พัฒนาการของตัวออน
d,e: ลูกออนที่ฟักออกมาจากไข่

กำเนิดของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำเริ่มต้นได้รับผลกระทบจากทิศทางของแรงโน้มถ่วง
แรงโน้มถ่วงมีผลกระทบอย่างยิ่งกับการพัฒนาโครงสร้างของลูกอ๊อด แต่ว่ารูปร่างนั้นเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในสภาวะปกติได้ในช่วงหลัง
การทดลองกับปลาขนาดเล็ก Medaka ที่กำลังวางไข่ โดยการผสมเทียมและมีขั้นตอนการพัฒนาโดยปราศจากปัญหาอย่างเห็นได้ชัด
ลูกปลาที่เกิดในอวกาศเติบโตและสามารถออกลูกภายหลังที่เดินทางกลับสู่โลก

ชีววิทยาของการแผ่รังสีในอวกาศ

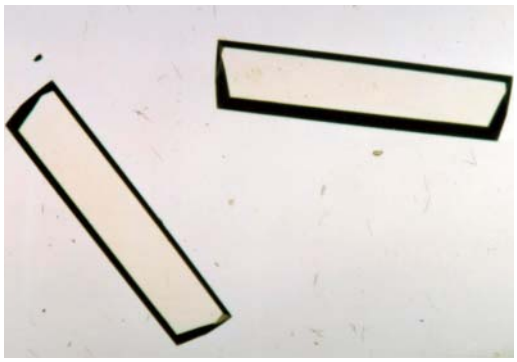




แผนการสังเกตุผลของรังสีไอออนต่อการกลายพันธ์ทางกายภาพของแมลงวัน (*Drosophila sp.*) และหลอดแก้วบรรจุแมลงวันสำหรับการทดลองในกระสวยอวกาศ

ปริมาณการแผ่รังสีไอออนในอวกาศต่อวันโดยคราวๆ เท่ากับปริมาณรังสีในหนึ่งปีบนพื้นดิน ปริมาณรังสีในระดับนั้นจะไม่เป็นอันตรายในทันที แต่ความเสี่ยงในระยะยาวควรถูกวิเคราะห์สำหรับการอาศัยเป็นเวลานานใน ISS หรือที่ฐานบนดวงจันทร์หรือเพื่อการเดินทางสำรวจไปยังดาวอังคาร ได้มีการการทดลองหลายชิ้นทำที่ในอวกาศและได้มีการเสนอแนะให้ทำการศึกษาต่อเนื่องเนื่องจากความซับซ้อนของคุณภาพการแผ่รังสีรวมไปถึงอนุภาคหนักที่มีพลังงานสูงและนิวตรอนทุติยภูมิและผลกระทบที่อาจจะเกิดร่วมกันภายใต้สภาวะไร้น้ำหนัก

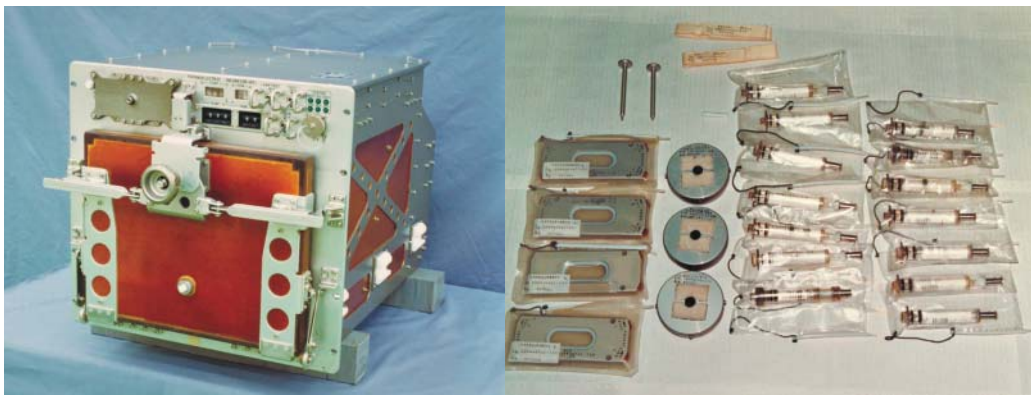
การขยายผลึกโปรตีน



ผลึกโปรตีนก่อตัวภายใต้สภาวะไร้แรงโน้มถ่วง (ω-amino acid: pyruvate aminotransferase, *Pseudomonas sp.* F-126)

สภาวะไร้น้ำหนักถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสร้างผลึกโปรตีน เนื่องจากไร้สิ่งรบกวนเช่น การพาความร้อนและการตกตะกอน ได้มีการทุ่มเทพยายามได้ให้ไปเพื่อให้ได้ผลึกโปรตีนที่มีคุณภาพดีเหมาะสมกับการวิเคราะห์ทางโครงสร้างด้วยวิธีการแยกแถบสีความถี่ของแสงเอ็กซ์เรย์ (XRD) ตั้งแต่การทดลองในอวกาศในระยะต้นๆ ณ วันนี้การทดลองการบินที่เป็นระบบได้รับการดำเนินการโดยความร่วมมือจากภาคอุตสาหกรรม ภาคการศึกษาและรัฐบาล

เครื่องมือและเทคโนโลยีด้านการทดลอง



เครื่องมือสำหรับใช้เพาะพันธ์ที่ใช้ในกระสวยอวกาศ และ เครื่องเพาะเลี้ยงเซล

การทดลองในอวกาศแตกต่างจากการทดลองบนพื้นโลกอย่างมากในเรื่องของการพึ่งพาเครื่องมืออุปกรณ์อิเล็คโทรนิค การรวมมือกับวิศวะเครื่องกลและวิศวกรปฏิบัติการในอวกาศจะทำให้เกิดประสิทธิภาพมากกว่าที่จะให้นักชีววิทยาพยายามที่จะคนควาเครื่องมือและงานที่ไม่เชี่ยวชาญด้วยตัวเอง การช่วยเหลือในการทดลองจากผู้เชี่ยวชาญเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวางแผนในขั้นตน การปรับปรุงการทดลอง การออกแบบเครื่องมือ การทดสอบความถูกตองและการปฏิบัติการบิน

บทเรียนที่ได้รับ

การทดลองในอวกาศจะต้องมีการวางแผนด้วยความเข้าใจว่ามีความแตกต่างมากมายจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

นักวิจัยไม่สามารถเข้าถึงขั้นตอนบางอย่างที่มีความสำคัญ

การมีตัวอย่างการทดสอบที่จำนวนจำกัด

ช่วงเวลาการวางแผนนานและตารางเวลาที่กระชั้นชิดเกินไป

ตารางเวลาของขั้นตอนวิธีการซึ่งรวมไปถึงการเตรียมตัวอย่างถูกกำหนดไว้แน่นเกินไป
ตารางเวลาไม่เหมาะสมกับการทดลองชีวภาพ
ช่วงเวลาการวางแผนงานนานทำให้การทดลองไม่ทันความก้าวหน้าในเรื่องวิทยาศาสตร์สิ่งมีชีวิต

วิธีการตัดสินใจแบบ 100 หรือ 0

นั้นไม่สามารถที่จะประยุกต์ใช้กับตัวอย่างการทดลองด้านชีวภาพได้

การขอข้อมูลผลการทดลองที่ในอดีตเป็นไปด้วยความยากลำบาก

ความยากลำบากในการตีพิมพ์ผลการศึกษา

สิ่งสำคัญในการแก้ไขปัญหาเชิงปฏิบัติ

ปัญหาในเชิงปฏิบัตินั้นไม่สำคัญ?

ปัญหาต่างๆนั้นล้วนเป็นการนำไปสู่ความล้มเหลวอย่างเท่าเทียมกันไม่ว่าปัญหานั้นๆจะเป็นที่สนใจหรือไม่

ไต่ตรองความสนใจมากขึ้นต่อการศึกษาใหม่และลดการนับถือแต่การปฏิบัติงาน

ทักษะในการทดลองหรือการใช้เครื่องมือไม่ได้เป็นการฝึกฝนทางด้านการศึกษา?
กำจัดความคิดที่ว่านักวิทยาศาสตร์ทำแต่เรื่องที่เป็นวิทยาศาสตร์เท่านั้น
ไม่เพียงแต่ให้ความสำคัญต่อความสำเร็จในเชิงวิทยาศาสตร์ที่เฉพาะเจาะจง แต่ให้ความสำคัญต่อการสงเสริมด้านเทคโนโลยีด้วย

การสร้างความเป็นระบบให้กับเทคโนโลยีการทดลองในอวกาศ

วิทยาศาสตร์ด้านพฤติกรรมเพื่อการประสานงานกันอย่างมีประสิทธิภาพในระหว่างผู้เชี่ยวชาญจากสาขาที่หลากหลาย

ต้องการความเข้าใจลึกซึ้งที่เท่ากันสำหรับโปรแกรมผู้ประสานงานและวิศวกรฝ่ายสนับสนุน

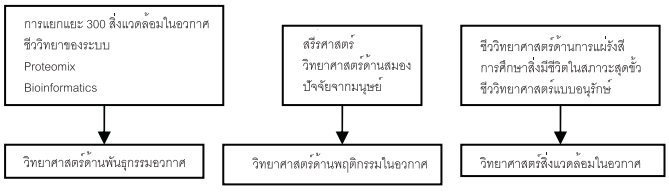
ควรมีการสร้างระบบการประเมินผลที่เหมาะสมเพื่อความทุ่มเทของบุคลากรฝ่ายสนับสนุน

การปรับปรุงการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อให้ได้ในระดับที่น่าพึงพอใจ

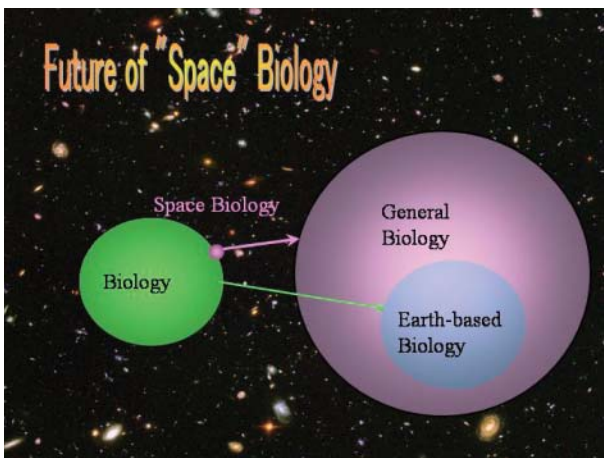
การทบทวนภารกิจที่ประสบผลความสำเร็จเป็นสิ่งสำคัญ
การวิเคราะห์ความล้มเหลวไม่ควรเป็นข้อแก้ตัว
ไม่มีอะไรถือว่าเป็นความล้มเหลว แม้ว่าสถานการณ์ดูเหมือนว่าจะเป็นเช่นนั้น
การเน้นย้ำส่วนที่ประสบความสำเร็จในภารกิจอาจเป็นสิ่งจำเป็นในบางสถานการณ์
แต่ที่แน่นอนนักวิจัยไม่ควรกล่าวอ้างเกินควรมากนัก
จัดทำขั้นตอนเพื่อการประเมินผลการดำเนินงานให้เป็นระบบคัดเลือกบทเรียนที่ได้รับ
แล้วเก็บรวบรวมเพื่อเป็นความรู้หรือประสบการณ์ให้กับภารกิจต่อไป
เก็บรวบรวมข้อมูลการบินและสร้าง แนวทางในการที่จะทำให้ทุกคนสามารถใช้ข้อมูลเหล่านั้นได้
กระตุ้นให้นักวิทยาศาสตร์ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการบิน
ขั้นตอนทั้งหมดของการทดลองในอวกาศตั้งแต่การวางแผน การเตรียมการบนพื้นโลก การควบคุมการบิน การวิเคราะห์ข้อมูล การเตรียมเอกสารผลการวิจัย และอื่นๆ ควรได้รับการยกระดับให้เป็นของการศึกษา

ประเด็นการค้นคว้าด้านวิทยาศาสตร์สิ่งมีชีวิต

ค้นหาขอบเขตใหม่ของการวิจัย
ลดการแข่งขันในระดับนานาชาติด้วยการจัดลำดับความสำคัญของหัวข้อการวิจัยและความร่วมมือในระดับนานาชาติ



สร้างการถ่ายเทความรู้ระหว่าง ISS และทีมวิจัยบนพื้นโลก, คงไว้ซึ่ง เกียรติของชาติและเชิดชูเหตุผลของความเป็นชาติและให้ความช่วยเหลือนี้ไปยังเอเชียและโลก
- ขยายพื้นที่ที่มีกิจกรรมของมนุษย์
  การสำรวจดาวเคราะห์ / การท่องเที่ยวในอวกาศ
- ความอยู่ดีกินดีและความรุ่งเรืองของมนุษยชาติ



Background image credit: NASA and STScI

Material Science 物質科学分野

วัตถุประสงค์ของการทดลองในอวกาศ

1 เป็นการส่งเสริมทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยการใช้สภาวะไร้น้ำหนัก โดยไม่มีการรบกวนจากแรงโน้มถ่วง

- ความก้าวหน้าของวัสดุทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ประโยชน์จากการไม่ใช้แรงลอยตัว,การไม่ใช้การตกตะกอน,การไม่ใช้การพาความร้อน , ไม่มีแรงดันของน้ำ
- การพัฒนาทางทฤษฎีเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของของเหลว, การเผาไหม้และอื่นๆ
- การพัฒนาทางทฤษฎี ในสาขาฟิสิกส์เบื้องต้นและ เคมีเบื้องต้น
- ความก้าวหน้าในเทคนิคการผลิตและขั้นตอนวิธีการ

2 การก่อตั้งวิทยาศาสตร์แขนงใหม่เกี่ยวกับการขึ้นอยู่กับแรงดึงดูด

- เป็นการสร้างและส่งเสริมวิทยาศาสตร์แขนงใหม่ซึ่ง อธิบายปรากฏการณ์ต่างๆว่าผลมาจากแรงดึงดูด
- การค้นหาปรากฏการณ์ใหม่ๆ ในสาขาฟิสิกส์ เคมี วัสดุทางด้านวิทยาศาสตร์ในเรื่องฟิสิกส์พื้นฐานวิทยาศาสตร์เรื่องของเหลว และอื่นๆ

3 การให้ความร่วมมือของกิจกรรมของมนุษย์ในอวกาศ

- การพัฒนาวัสดุใหม่ๆที่มีน้ำหนักเบาและไม่ติดไฟ
- ขั้นตอนการส่งผ่านความร้อนภายใต้สภาวะไร้น้ำหนัก, การลดความร้อน, และเทคโนโลยีต้านทานการเผาไหม้และอื่นๆ
- พัฒนาการผลิตและเก็บรักษาพลังงานและเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน

จำนวนการทดลองในอวกาศทั้งหมดและการแบ่งประเภท

ในช่วงระหว่างปี 1973 และ 1998 มีการทดลองเกิดขึ้นทั้งสิ้น 122 การทดลอง แบ่งเป็นการทดลองของ NASDA 83 การทดลอง กระทรวงการค้าระหว่างประเทศและอุตสาหกรรม 21 การทดลอง บริษัทเอกชน 9 การทดลอง ISAS 3 การทดลอง การศึกษาเฉพาะด้าน 6 การทดลอง สาขาการศึกษาค้นคว้าแบ่งออกเป็นดังนี้

สาขาการค้นคว้า	จำนวนการทดลอง
กระบวนการของวัสดุ (79)	
สารกึ่งตัวนำ	29
โลหะ/ อัลลอย	20
สารประกอบ	7
แก้ว/เซรามิค	6
สารอินทรีย์	10
ออกไซด์	2
อื่นๆ	5
วิทยาศาสตร์ของไหล (37)	
การแพร่	19
การพาความร้อนของ Marangoni	8
การนำความร้อน	2
พลศาสตร์การหยดของเหลว	1
การเดือดและการถ่ายเทความร้อน	3
g-jitter	3
วิทยาศาสตร์การเผาไหม้ (2)	1
การเผาไหม้ของหยดเชื้อเพลิง	2
อื่นๆ (4)	4

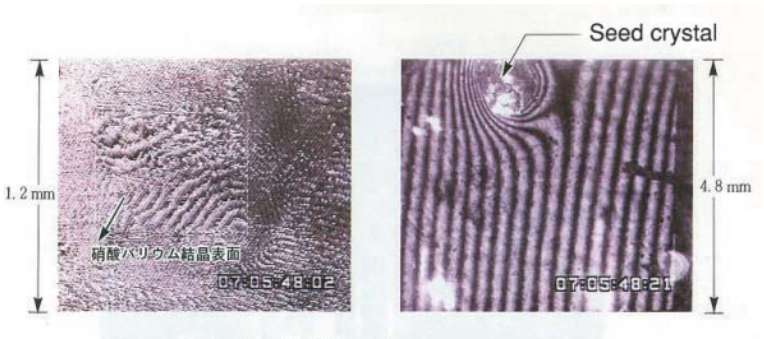
การแบ่งกระบวนการของวัสดุโดยเทคนิคที่ใช้

วิธีการ	จำนวนการทดลอง
การแข็งตัวจากการละลาย	39
(การลอยโดยไม่สัมผัสกัน)	(4)
การสร้างผลึกจากสารละลาย	18
(การสังเกตในสถานที่จริง)	(12)
การสร้างผลึกจากสารหลอมละลาย	11
การสร้างผลึกด้วยวิธี Floating Zone	3
การสร้างผลึกจากสภาวะที่เป็นไอ	6
การสังเคราะห์การเผา	1
การเผาให้เกาะติดกัน	1

* ( ) หมายถึงการนับซ้ำ

ความสำเร็จที่สำคัญ

การวัดขนาดการกระจายความหนาแน่นรอบผลึกที่กำลังก่อตัวขึ้น



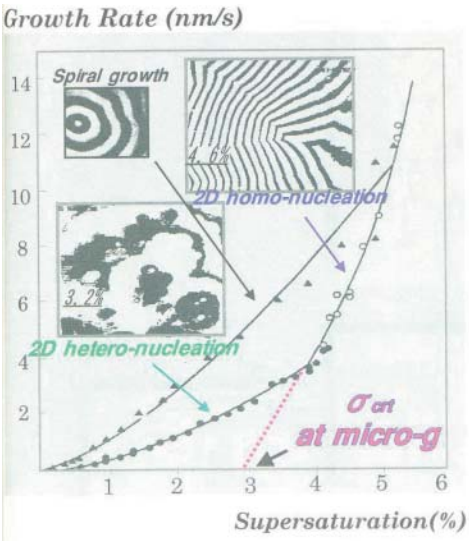
ภาพที่1 การสังเกตความหนาแน่นของเหลวรอบ ๆ ของผลึกที่ก่อตัวขึ้นในสถานที่จริงโดย interferometry

ภาพสองภาพด้านบนแสดงความแตกต่างของความหนาแน่นของของเหลวที่แตกต่างกันรอบผลึก$BaNO_3$ ที่กำลังก่อตัวขึ้นในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำ สิ่งเหล่านี้ถูกวัดด้วย interferometer

การสังเกตในภาวะไร้น้ำหนักนี้ประสบความสำเร็จเป็นครั้งแรกด้วยการพัฒนา interferometer ที่มีขนาดเล็กและแข็งในการทดลองในอวกาศ ขอบโค้งรอบๆ ผลึกแสดงให้เห็นถึง

อัตราการกระจายความหนาแน่นที่สูงมากในบริเวณใกล้เคียงผลึก ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตและระดับความเข้มข้นที่เกินจุดอิ่มตัวของสารละลายสามารถวัดได้จาก ชุดการทดลองดังที่แสดงในภาพที่ 2

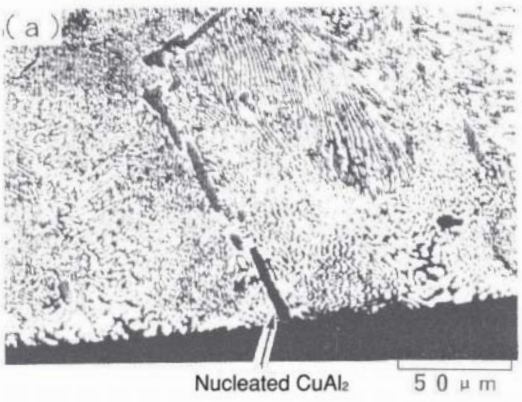
กลไกในการสร้างผลึกคริสตัลจากสารละลาย



ภาพที่2
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเติบโตและระดับความเข้มข้นที่เกินจุดอิ่มตัวในการเติบโตของ $BaNO_3$ จากสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ

▲หมายถึงอัตราการเติบโตที่สังเกตได้บนผิวโลก
จะเห็นได้ว่าอัตราการเติบโตนั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับระดับของความเข้มข้นที่เกิดจุดอิ่มตัว
โดยที่อัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระดับความเข้มข้นเกิดจุดอิ่มตัวที่ 3% สภาวะไร้น้ำหนัก (● และ ○) ความแตกต่างนี้หมายความถึงการสร้างนิวเคลียสสองมิติที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
ที่เกิดขึ้นบนผิวโลกเนื่องจากเนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ และ/หรืออนุภาคถูกเคลื่อนไปยังผิวของผลึกที่กำลังเติบโต
โดยอันเนื่องมาจากความแตกต่างของความหนาแน่น
ในขณะสร้างนิวเคลียสที่มีเนื้อเดียวเกิดขึ้นในสภาวะไร้น้ำหนักอันเนื่องมาจากอิทธิผลจากความแตกต่างของความหนาแน่นได้ถูกระงับไว้
นี่เป็นตัวอย่างแรกที่แสดงให้เห็นผลกระทบของแรงดึงดูดที่มีผลกระทบต่อการสร้างนิวเคลียสของผลึกที่กำลังก่อตัวจากสารละลาย

กลไกการแข็งตัวของโลหะผสมอัลลอยที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ



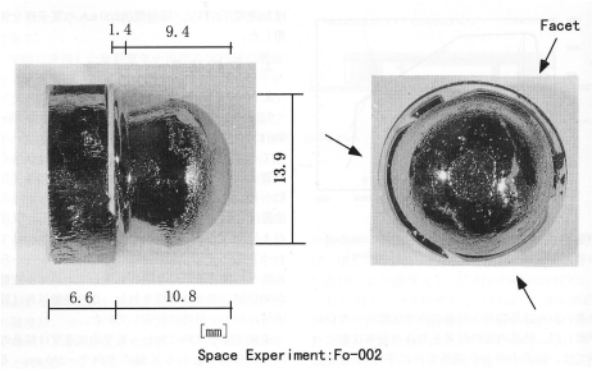
ภาพที่ 3
ภาพพื้นผิวของโลหะอัลลอยทองแดงและอลูมิเนียมที่แข็งตัวภายใต้สภาวะไร้น้ำหนัก

ภาพถ่ายภาพนี้แสดงให้เห็นถึงเนื้อของโลหะผสมอัลลอยที่ประกอบด้วย Al 33.5% โดยน้ำหนัก Cu
ซึ่งมีส่วนผสมที่มากไปเล็กน้อยสำหรับการรวมตัวเป็นโลหะผสม ผลึกขั้นต้นของ $CuAl_2$
เริ่มขยายการสร้างแบบนิวเคลียสในบริเวณผนังด้านในของเบ้าหลอมซึ่งแสดงให้เห็นโดยลูกศร
ผลการทดลองนี้เป็นการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองการเคลื่อนย้ายของนิวเคลียส
เช่นบนผนังและนิวเคลียสได้เคลื่อนย้ายไปในส่วนที่หลอมละลายโดยความแตกต่างของความหนาแน่น การสร้างแบบของนิวเคลียสเช่นนี้
การแตกออกของแขนของเดนไดรท์และการสร้างนิวเคลียสในสารหลอมละลายไม่เป็นผลสำเร็จ การค้นพบนี้ได้ใช้เป็นการปรับปรุงคุณภาพของการหล่อวัสดุ เช่น ใบพัดกังหัน

การสร้างผลึกสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในอวกาศ

ภาพที่ 4
การสร้างผลึก InSb โดย Floating Zone Methodในอวกาศ

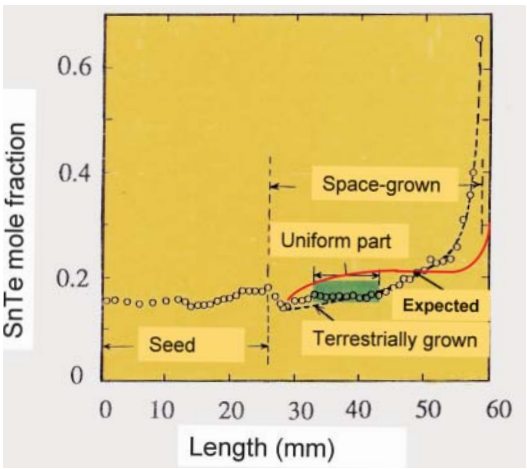
เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรเป็นขนาดใหญ่สุดของสารหลอมละลายของ InSb ที่สามารถลอยได้บนพื้นโลกเนื่องจากสารหลอมละลายจะหยดลงด้วยน้ำหนักของมันเอง
ในขณะที่ในสภาวะไร้น้ำหนักสารหลอมละลายที่ขนาดใหญ่กว่าสามารถถูกตรึงเอาไว้ได้เนื่องจากปราศจากน้ำหนักและดังนั้นผลึก InSb ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร (ขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถสร้างได้ในอวกาศ) ถูกผลิตขึ้นมาได้ โดย Floating zone method ดังที่แสดงในภาพ ความหนาแน่นของหลุมตรึงมีค่าประมาณ $10^{-2}cm^{-2}$ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า2 ลำดับเมื่อเทียบกับอันที่สร้างได้บนพื้นโลก
และการหลีกเลี่ยงความเค้นจากขอบเบ้าหลอมอาจมีผลให้การเสียรูปร่างลดลงจากเดิม



ภาพที่ 5
การขยายของผลึก CdTe **ที่ไม่โดนแตะต้องในอวกาศ**

ปลายของผลึกเป็นส่วนที่ขยายขนาดโดยไม่มีการแตะต้อง
และลูกศรแสดงให้เห็นถึงส่วนที่ถูกเจียรนัย ผลึก CdTe มีแนวโน้มที่จะก่อตัวขึ้นเป็นคู่เหมือน
แต่ลักษณะการเกิดคู่เหมือนเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงในการทดลองเนื่องจากกลไกการก่อตัวแบบไร้
ความเค้นด้วยการไม่แตะต้องผนังเบ้าหลอม ความหนาแน่นทำให้เกิดการเสียรูปร่างประมาณ
$2x10^4 cm^{-2}$ ซึ่งน้อยกว่าค่าของส่วนที่เปลี่ยนสีประมาณ1 ลำดับ
เทคนิคดังกล่าวในการหยุดยั้งการเสียรูปร่างเป็นประโยชน์ต่อการผลิตวงจรขนาดใหญ่ที่มีสารกึ่ง
ตัวนำหลายตัว เนื่องจากรายละเอียดที่เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันเป็นสิ่งที่จำเป็นในอุปกรณ์ดังกล่าว

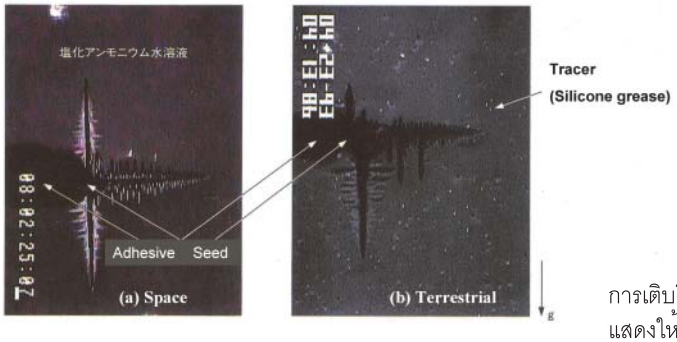
การสร้างสารประกอบที่เป็นแบบของผลึกสารกึ่งตัวนำในอวกาศ



ภาพที่ 6
การเปรียบเทียบอัตราการเกิดผลึกที่ประกอบกันขึ้นมาใน
อวกาศและบนพื้นโลกในการสร้างสารกึ่งตัวนำ $Pb_{1-x}Sn_xTe$

ความยาวของการสร้างผลึกที่มีเนื้อเดียวกันในอวกาศนั้นมีความยาวไม่พออย่างที่คาดก
ารณ์ไว้ ดังที่แสดงด้วยเส้นสีแดง
และสารประกอบที่เกิดขึ้นมาก็ไม่เป็นไปอย่างที่คาดไว้เช่นกันซึ่งชี้ให้เห็นว่าผลกระทบของ
ความหนาแน่นที่ต่างกันยังคงเกิดขึ้น โดยน่าจะเนื่องจากแรงดึงดูดที่ยังหลงเหลืออยู่
ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า 10^{-6}g
เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการสร้างผลึกที่มีเป็นเนื้อเดียวกัน
วิธีการสร้างผลึกวิธีใหม่ที่เรียกว่า Traveling Liquidus-Zone (มีตัวย่อว่า TLZ)
ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นมาในการทดลองชิ้นนี้
และผลึกอัลลอยที่มีเนื้อเดียวกันนั้นเติบโตขึ้นได้ด้วยวิธี TLZ

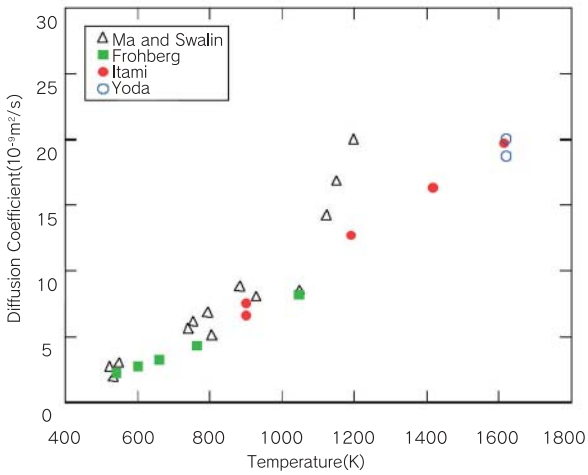
ผลกระทบจากความแตกต่างของความหนาแน่นต่อการสร้างเดนไดรท์



ภาพที่ 7
การเปรียบเทียบเดนไดรท์สร้างในสภาวะไร้น้ำหนักและบนผิวโลก

การเติบโตในสภาวะไร้แรงดึงดูด (ในภาพซ้ายมือ a)
แสดงให้เห็นถึงแขนของเดรนไดรท์ที่สมมาตรกัน
ในขณะที่เดนไดรท์เกิดขึ้นบนพื้นโลก (รูปด้านขวา b)
แสดงให้เห็นถึงการเติบโตที่ไม่สมมาตรกัน ตัวอย่างเช่น
แขนของเดนไดรท์ห้อยต่ำลงมาเนื่องจากแรงตามธรรมชาติ

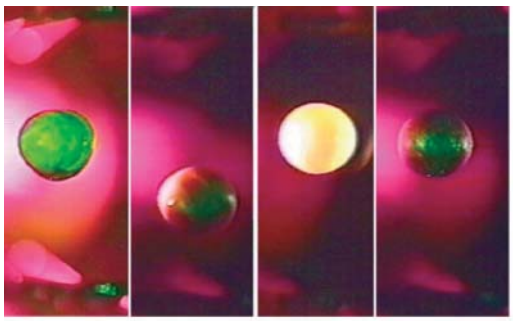
สมบัติการขึ้นต่ออุณหภูมิที่แน่ชัดของค่าสัมประสิทธิการแพร่



ภาพที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ Sn โดยเปรียบเทียบผลการทดลองแบบเก่าและแบบใหม่

ค่าสัมประสิทธิการแพร่ถูกพบว่ามีความสัมพันธ์กับเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิยกกำลัง 1.8 – 2.0
โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวัดที่แม่นยำโดยการระงับผลของความหนาแน่นที่แตกต่างกันด้วยสภาวะไร้น้ำหนัก
ซึ่งกฎความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และอุณหภูมิของ Arrhenius นั้นไม่ถูกต้องในกรณีนี้
△เป็นข้อมูลที่ถูกทดสอบบนพื้นโลกในขณะที่ข้อมูลที่เหลือเป็นข้อมูลที่ถูกวัดในสภาวะไร้น้ำหนัก
การค้นพบนี้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นของแบบจำลองการแพร่แบบใหม่แทนแบบจำลองการแพรการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิแบบเดิม

การสังเคราะห์วัสดุใหม่โดยการใช้เตาหลอมที่อาศัยแรงลอยตัวด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์

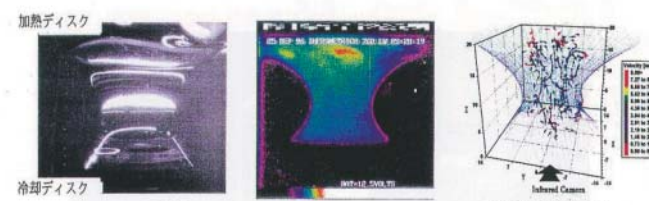


(a) (b) (c) (d)

ภาพที่ 9 การเกิด $BiFeO_3$ ในกระเบื้องเซรามิค (a) ขณะลอยอยู่ (b) เมื่อให้ความร้อน(c) หลอมละลาย (d) เมื่อเย็นลง

การทดสอบเซรามิคด้วยวิธีการทำให้ลอยตัวประสบผลสำเร็จเป็นครั้งแรกด้วยการใช้เตาหลอมที่อาศัยแรงลอยตัวจากไฟฟ้าสถิตย์
การวิเคราะห์ตัวอย่างการทดลองแสดงให้เห็นผลึกขนาดไมโครในเนื้อวัสดุที่ไม่เป็นผลึก
การเปลี่ยนแปลงทิศทางของการถ่ายทอดความเป็นแม่เหล็กการเป็นแม่เหล็กอยู่ที่ 50K และมีที่คงที่ต้านทานการสื่อไฟฟ้ามากกว่า 15000

การสังเกตการไหลแบบ Marangoni แบบ 3 มิติ

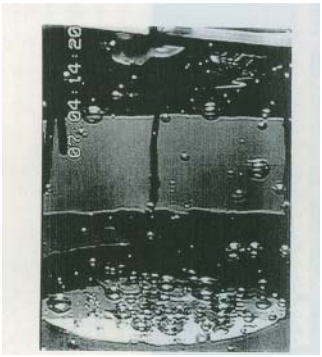


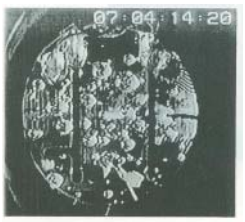
(a) (b) (c)

ภาพที่ 10 การสังเกตการณ์สั่นไหวสามมิติของกระแสในแนวซิลิโคนน้ำมัน ของเหลว

ภาพแสดง (a) คอลัมน์ของ แท่งของน้ำมันซิลิโคนเหลว (b) การกระจายอุณหภูมิที่ผิวด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟาเรด (c) การกระจายอัตราการไหลที่วัดโดยการสังเกตอนุภาคในของเหลวตามลำดับ
การสังเกตแบบสามมิติประสบผลสำเร็จเป็นครั้งแรกในการทดลองครั้งนี้

การสังเกตฟองอากาศที่เดือดและแผ่นฟิล์มของของเหลวบาง ๆ



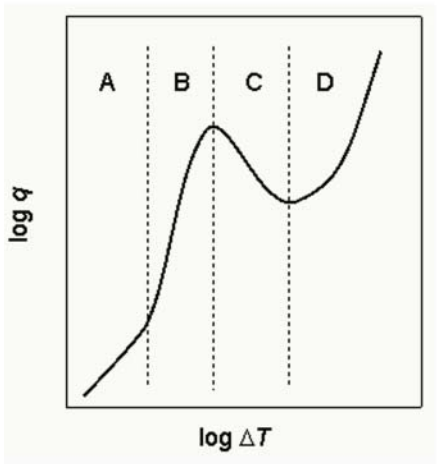


↑heating surface

ภาพที่ 11 การสังเกตฟองที่เดือดภายใต้สภาวะไร้น้ำหนัก

เมื่อฟองอากาศของไอน้ำที่ระเหยมาจับตัวที่พื้นผิวที่ได้รับความร้อน จะก่อให้เกิดแผ่นฟิล์มบางๆ ติดอยู่ที่ผิวที่ด้านล่างของฟองอากาศ ฟิล์มขนาดไมโครนี้ในมีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจเรื่องสมบัติการถ่ายเทความร้อนในระดับหน่วยที่ใหญ่กว่า

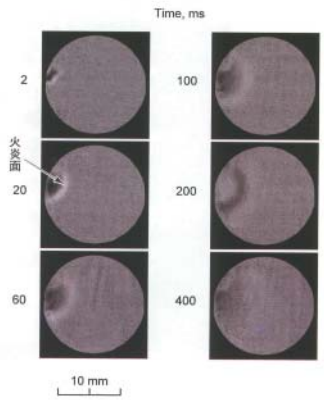
เส้นโค้งของการเดือด: กฎของโนคิยามา



ภาพที่ 12 ความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังและของเหลวที่ไหล ?T กับ การไหลของความร้อน q

เส้นโค้งของการเดือด มีแนวโน้มดังที่แสดงในภาพทางด้านซ้าย โดยมีส่วนที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่ A ส่วนที่มีความชันเพิ่มขึ้น B ส่วนที่ลดน้อยลงมาเนื่องจากผลกระทบของแผ่นฟิล์มไอน้ำ C ส่วนของการเพิ่มขึ้นอีกครั้งเนื่องมาจากผลกระทบจากฟิล์มของเหลว โดยปรกติแล้ว ในกรณีที่เป็นน้ำ กำแพงของอุณหภูมิระหว่างเขต B และC อยู่ที่ประมาณ 120 องศาเซลเซียส ระหว่าง CและD อยู่ที่มากกว่า 200 องศาเซลเซียส มาตราส่วนของแกนในแนวนอนและแนวตั้งเป็นเลขยกกำลังทั้งคู่

การแพร่ขยายของเปลวไฟของการสันดาปแบบอ่อน



ภาพที่ 13
การสังเกตเปลวไฟจากการเผาไหม้เพื่อฉีดละอองเชื้อเพลิงเข้าไปในห้อง

ภาพถ่ายเหล่านี้แสดง
การขยายของเปลวไฟที่สังเกตได้ในการทดลองจรวดที่ทำให้เกิดเสียง TR-IA เปลวไฟที่อ่อนมากก่อตัวขึ้นมาจากด้านบนซ้ายและหายไปกลางทาง การก่อตัวของเปลวไฟที่อ่อนในบริเวณที่มีออกซิเจนจากการแพร่ซึ่งถูกสังเกตพบเป็นครั้งแรกจากการทดลองนี้
ผลการทดลองนี้ทำให้เราต้องพิจารณาการเคลื่อนที่ของของเหลวและการแผ่ความร้อนระหว่างการสันดาป

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ปรากฏการณ์เฉพาะในสภาวะไร้น้ำหนักเป็นสิ่งที่ควรนำมาใส่ใจ

1. การกำจัดฟองอากาศด้วยความหนาแน่นที่ต่างกันนั้นไม่สามารถทำได้
2. การถ่ายเทความร้อนเป็นผลเบื้องต้นมาจากการนำความร้อน มากกว่า การพาความร้อน
3. การพาความร้อนแบบ Marangoni กลายเป็นกลไกหลัก เมื่อมีพื้นผิวที่มีของเหลวอิสระ
4. ความสามารถในการเปียกน้ำได้(ที่ทำงานร่วมกันได้ระหว่างวัสดุและภาชนะ) ได้กลายเป็นสิ่งที่มีอิทธิพล และวัสดุที่หลอมละลายมีแนวโน้มที่จะไหลขึ้นมาตามผิวของเบ้าหลอม

เทคนิคที่ได้จากชุดการทดลอง

เทคนิคต่างๆในการทดลองที่ได้จาก FMPT (การทดสอบกรรมวิธีทางด้านวัสดุครั้งแรก ในปี1992)
และการทดลองกับจรวดที่ก่อให้เกิดเสียงได้ถูกสรุปไว้ในตารางข้างล่าง การเก็บข้อมูลและการพัฒนาเทคนิคการทดลอง
เป็นสิ่งสำคัญและควรมีการทำเนินการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้การสร้างฐานข้อมูลและการตีพิมพ์เป็นสิ่งที่ดีเพื่อให้การใช้งานผลงานที่สำคัญอย่างแพร่หลาย

เทคนิคที่ได้จากการทดลอง

เทคโนโลยี	ภารกิจ	เครื่องมือ ซอฟต์แวร์และประสบการณ์
การจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Thermodynamic เพื่อการควบคุมอุณหภูมิ	FMPT、IML-2、MSL-1、TR-IA	เตาหลอมไฟฟ้าซอฟต์แวร์สำหรับวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิภายในเตาหลอมเพื่อทำนายการพาความร้อนด้วยการค่า g ที่เหลือและอัตราการขยายของผลึก
การสังเกตติดตามในสถานที่จริง การใช้ประโยชน์จากเครื่องมืออิเล็คทรอนิกส์เพื่อป	TR-IA	การวัด interferometryโดยใช้คลื่น 2 คลื่นที่มีการเปลี่ยนเฟสในinterferometer ในเวลาจริงและใช้กล้องที่มีความไวสูง
ระโยชน์ทางการค้า	FMPT、IML-2、TR-IA	กล้องดิจิตอลวีทีอาร์ กล้องวิดีโอ
การเก็บตัวอย่างการทดลองไว้ได้เป็น เวลานาน	FMPT、IML-2、MSL-1、TR-IA	การทดลองสร้างผลึก(จากสารอินทรีย์ และอนินทรีย์) การทดลองของไหล
การขนส่งตัวอย่างการทดลอง	FMPT、IML-2、MSL-1、STS-95 STS-107	การทดลองสารแขวนลอย การควบคุมและวัดการสั่นสะเทือน การควบคุม

ประสบการณ์และบทเรียนที่ได้รับ

1 ประสบการณ์บนพื้นโลก 95 % และในอวกาศอีก 5 %

ความสำคัญของการทดลองบนพื้นโลก (การเตรียมการ) การทดลองในอวกาศเป็นการต่อยอดของการทดลองบนพื้นโลก
การเปลี่ยนตัวแปรของทดลองในอวกาศนั้นกระทำได้ยากมาก

2 การทดลองในอวกาศขึ้นอยู่กับความร่วมมือในทีม

การร่วมมือและประสานความร่วมมือระหว่างนักวิทยาศาสตร์ ผู้สร้างอุปกรณ์เครื่องมือ วิศวกรดำเนินงาน บุคลากรด้านงานธุรการ
ผู้บริหารการจัดการเป็นสิ่งที่จำเป็น

3 ความสำคัญของการจำลองทางคณิตศาสตร์

การเคลื่อนที่ของของไหลเป็นตัวอย่างที่เด่นชัดเรื่องของสภาวะไร้น้ำหนัก
และการทำนายปรากฏการณ์ภายใต้สภาวะไร้น้ำหนักสามารถทำได้โดยการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลในระดับที่พึงพอใจ

4 การผสมผสานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านวิทยาศาสตร์ วิธีการที่เหมาะสม (ทางด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม) เป็นสิ่งจำเป็น

5 ความคุ้นเคยกับอุปกรณ์ในการบิน

การเตรียมการทดลองบนพื้นโลกควรดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ให้เหมือนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องบิน ตัวอย่างและขั้นตอนก็เช่นเดียวกัน

6 การฝึกฝนอย่างหนักไม่ได้ทำให้เราสามารถละเลยความระมัดระวัง

เมื่อขนาดของตัวอย่างเปลี่ยนไป ให้ถือตัวอย่างว่าเป็นของใหม่

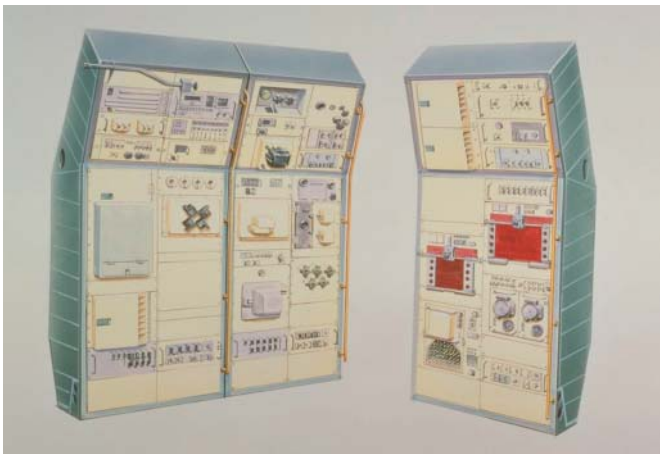
7 เรื่องไม่คาดคิดนำไปสู่ความสำเร็จใหม่ๆ ถือว่าเป็นโชค

8 การวิจัยดั้งเดิมมาจากเครื่องมือเดิมๆ

การเฝ้าสังเกตในสถานที่จริง ด้วย Interferometerที่อาศัยการเปลี่ยนเฟส แสดงให้เห็นว่า กลไกการเติบโตของผลึก
การสังเกตบริเวณที่มีการไหลในลักษณะสามมิติทำให้เกิดการพัฒนาการวิจัยเกี่ยวกับการไหลแบบ Marangoni
เทคนิคแนวโค้งของเซลล์ทำให้เราสามารถ ใช้การวัดค่าสัมประสิทธิการแพร่ได้อย่างถูกต้อง

Space Environment Utilization Resource Sites

- **JAXA top**
  http://www.jaxa.jp/index_e.html
- **JAXA Space Station**
  http://iss.sfo.jaxa.jp/index_e.html
- **JAXA Space Environment Utilization**
  http://iss.sfo.jaxa.jp/utiliz/index_e.html
- **International Space Environment Utilization Research Data Base (ISRDB)**
  http://idb.exst.jaxa.jp/english/home_e.html
- **Japan Space Forum (JSF)**
  http://www.jsforum.or.jp/en/index_e.html
- **Asia-Pacific Regional Space Agency Forum (APRSAF)**
  http://www.aprsaf.org/index.html
- **The Japan Society of Microgravity Application (JASMA)**
  http://www.jasma.info/index_E.html
- **Japanese Society for Biological Sciences in Space (JSBSS)**
  http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsbss/index_e.html
- **Japanese Society of Aerospace and Environmental Medicine (JSASEM)**
  http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsasem/English/index-e.html



Japan Aerospace Exploration Agency
Tsukuba Space Center
2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki,
305-8505 Japan
phone: +81-29-868-3697 facsimile: +81-29-868-3957

http://www.jaxa.jp

R100 古紙配合率100%再生紙を使用しています

JAXA
Japan Aerospace
Exploration Agency