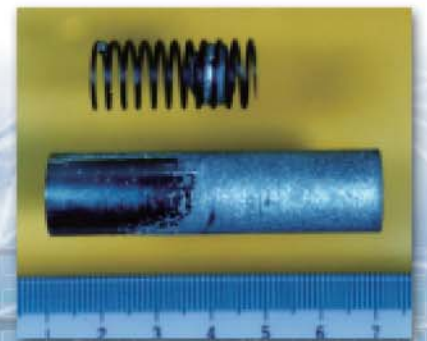
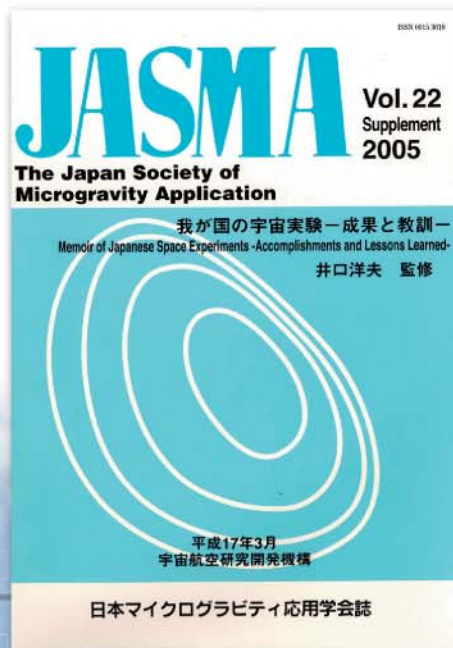


Laporan Ilmiah Eksperimen Ruang Angkasa Jepang - Hal-hal yang dicapai dan dipelajari -

Di-edit oleh Hiroo Inokuchi

Ringkasan Pelaksa



Prakata

Buklet ini merupakan ringkasan pelaksanaan dari “Laporan Ilmiah Eksperimen Ruang Angkasa Jepang- Hal-hal yang dicapai dan dipelajari”, yang diterbitkan pada bulan Maret 2005 oleh Badan Aplikasi Mikrogravitas Jepang (Japan Society of Microgravity Application). Isinya yang asli, yang diperuntukkan kepada ilmuwan Jepang, melebihi 400 halaman dengan teks dalam bahasa setempat. Versi bahasa Inggris dari ringkasan pelaksanaan ini di-edit untuk mendapatkan sirkulasi yang lebih luas. Kami berharap dapat membagikan karya penelitian berharga ini yang mendayagunakan lingkungan ruang angkasa yang luar biasa kepada semua orang, dan tidak hanya terbatas pada para ahli.



Isi

Life Science

Mengapa Mempelajari Biologi Ruang Angkasa ? — Tujuan dan Metode Penelitian Ilmu Pengetahuan Kehidupan Ruang Angkasa	02
Ringkasan Hal-hal Utama yang Dicapai dalam Ilmu Pengetahuan Kehidupan Ruang Angkasa ...	04
Hal-hal Utama yang Dicapai	05
Teknologi dan Peralatan Eksperimental	08
Prospek Ilmu Pengetahuan Kehidupan Luar Angkasa	09

Material Science

Tujuan dari Eksperimen Luar Angkasa ...	10
Hal-hal utama yang dicapai	11
Aparatus untuk eksperimen	16
Teknik yang diperoleh dengan suatu seri eksperimen ruang angkasa Pengalaman dan Hal-hal yang Dipelajari ...	16



Life 生命科学分野 Science

Mengapa Mempelajari Biologi Ruang Angkasa?

Tujuan Penelitian Ilmu Pengetahuan Kehidupan Ruang Angkasa

Memperluas kegiatan manusia ke daerah lebih luar

▶ Mengidentifikasi dan mengatasi masalah yang ada dalam kegiatan manusia di ruang angkasa.

Mengejar tingkat kehidupan universal yang lebih rendah

▶ Menganalisa fenomena kehidupan dalam kondisi terbebas dari keterbatasan di permukaan bumi.

Metode Penelitian Ilmu Pengetahuan Kehidupan Ruang Angkasa.

Mendapatkan teknologi terbaru ke dalam aktivitas ISS

- ▶ Alat analisa terobosan tinggi dan peralatan nano
- ▶ Perolehan kembali (retrieval) biospesimen ke bumi untuk analisa lebih lanjut.

Memanfaatkan ISS secara penuh

- ▶ Observasi tumbuhan dan hewan generasi demi generasi.
- ▶ Pengoperasian eksperimental yang rumit oleh kru.
- ▶ Studi medis dengan kru sendiri sebagai subjek.

Astronot Dr. Mamoru Mohri melakukan eksperimen ilmu pengetahuan kehidupan di dalam Kapal Ulang Alik Endeavour (September 1992).



Pemilihan astronot pertama mendesak organisasi Jepang untuk memulai program penelitian biomedis formal di akhir 1970-an. Badan Pengembangan Ruang Angkasa Nasional (National Space Development Agency of Japan/ NASDA) melakukan penyelidikan terhadap tren obat-obatan ruang angkasa di Eropa dan Amerika Serikat, dan juga di Rusia yang telah memiliki pengalaman tinggal di ruang angkasa untuk waktu yang lama. Riset bersama di bumi yang dilakukan dengan negara-negara ini dan di antara institusi lokal juga dilakukan pada bed-rest dan isolasi jangka panjang, dan pada kondisi mikrogravitasi jangka pendek dengan penerbangan parabola. Uji Coba Pemrosesan Materi Pertama (First Material Processing Tests / FMPT/SLJ: STS-47, 1992),

Laboratorium Mikrogravitasi Internasional Kedua (Second International Microgravity Laboratory / IML-2: STS-65, 1994), Neurolab (STS-90, 1998) dan STS-95 (1998) merupakan eksperimen ruang angkasa skala penuh di atas Kapal Ulang Alik. Jumlah total sebanyak 96 eksperimen biologi dan medis telah dilakukan oleh organisasi lokal hingga tahun 1998. Sebagai tambahan, beberapa penyelidik Jepang ikut mengambil bagian dalam program asing. Metode eksperimen ruang angkasa, pengembangan peralatan, teknologi pengoperasian dipelajari melalui kegiatan ini, dan membuahkan hasil yang dicapai oleh daerah-daerah yang maju dalam riset pendarayagunaan ruang angkasa.

Ekperimen Ilmu Pengetahuan Kehidupan Luar Angkasa

Flight/Mission	Vehicle	Organizatio	Date	No. Subjects
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

*Japanese researchers took parts in foreign programs as CI (not counted)

**Japanese agency provided equipment for foreign researchers (not counted)

Jumlah total 96 eksperimen penerbangan telah dilakukan oleh peneliti dari institusi domestik selama periode antara 1989 dan 1998.

Area penelitian	Jumlah Eksperimen Penerbangan
Pengobatan Ruang Angkasa	
Fisiologi Umum	4
Fungsi Kardiovaskular	2
Fungsi Vestibular	5
Fungsi Musculoskeletal	3
Biologi Gravitasi	
Hewan	4
Tumbuhan	7
Sel dan mikroorganisme	10
Bioengineering	
Kristal protein	16
Produksi dan Pemurnian	6
Radiasi Luar Angkasa	
Dosimetry	15
Biologi Radiasi	23
Lainnya	1

Ringkasan Hal-hal Utama yang Dicapai dalam Ilmu Pengetahuan Kehidupan Ruang Angkasa

1 Memperluas kegiatan manusia ke daerah lebih luar

- ▶ Resiko bukaan dalam waktu yang lama terhadap partikel kosmik berenergi tinggi dan kombinasi radiasi elektromagnetik telah diidentifikasi.
- ▶ Mekanisme dari penyakit akibat gerakan ruang angkasa telah dianalisa dengan teknologi penanganan hewan air.

2 Mengejar tingkat kehidupan universal yang lebih rendah

- ▶ Adanya kemungkinan organisme yang hidup ditemukan tersembunyi di bumi.
- ▶ Kemampuan hewan bertulang belakang (vertebrata) (ikan Medaka) untuk berkembang biak dalam kondisi ruang angkasa telah dibuktikan.

3 Pencapaian ilmu pengetahuan kehidupan ruang angkasa tingkat tinggi

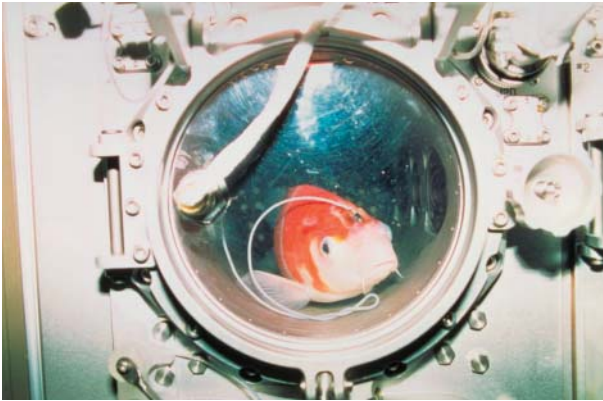
- ▶ Peralatan dan pengoperasian, terutama dalam teknologi hewan air, menjadi urutan tertinggi.
- ▶ Proposal untuk ilmu pengetahuan kehidupan ruang angkasa pada ISS yang diterima dinilai tinggi oleh badan ilmu pengetahuan Internasional.

4 Kematangan teknologi eksperimental di orbit

- ▶ Teknologi habitat air telah memungkinkan hewan untuk mempertahankan diri selama turun-temurun.
- ▶ Sistem terintegrasi untuk pengkulturan sel dan organisme kecil.
- ▶ Monitor real time untuk ion berat dan neutron, dan sistem detektor jejak nuklir.

Hal-hal Utama yang Dicapai

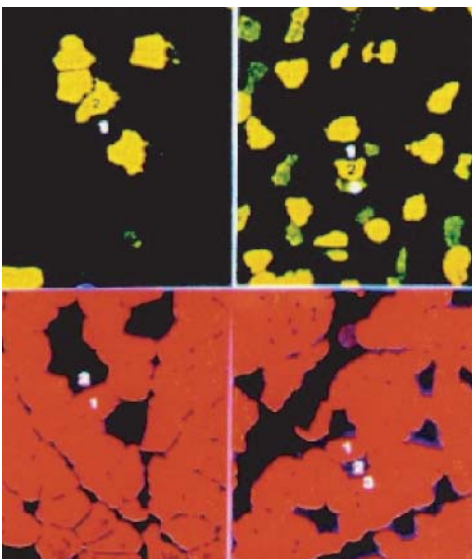
Sistem sensorimotor



Menganalisa penyakit akibat gerakan ruang angkasa dengan Koi (*Cyprinus carpio*) pada FMPT (1992)

Hewan seperti burung atau ikan yang bergerak di ruang tiga dimensi cocok untuk dilakukan studi mengenai fungsi vestibular (otolith). Ikan ditemukan berenang berputar bila terkena mikrogravitasi dalam kegelapan. Respons ringan pada sirip belakang, respons pembetulan di mana ikan menyeimbangkan poros tubuh vertikalnya sepanjang arah gravitasi dan cahaya, diamati di atas Kapal Ulang Alik. Hasilnya mendukung hipotesis konflik sensorik visual-vestibular untuk penyakit akibat gerakan ruang angkasa.

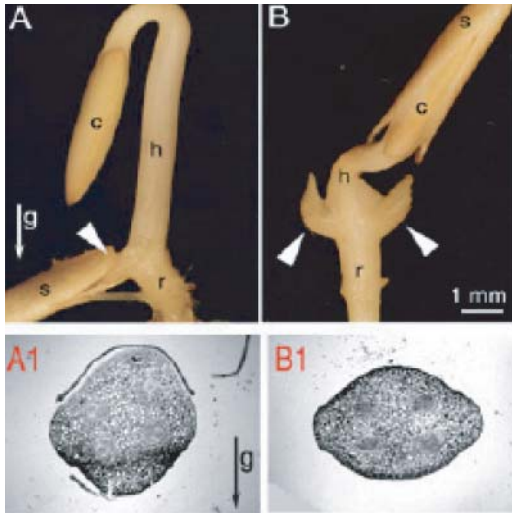
Atropi Otot



Perubahan dari gerakan serat otot yang pelan menjadi gerakan serat otot yang cepat ditunjukkan di perpotongan seri pada otot antigravitasi paha belakang tikus (soleus) setelah penerbangan ruang angkasa (SLS-2, 1993).

Otot antigravitasi menyusut dalam mikrogravitasi akibat hilangnya beban berkesinambungan. Perubahan gerakan serat otot yang pelan lebih jelas daripada gerakan serat otot yang cepat. Beberapa gerakan serat otot yang pelan ditemukan untuk menjelaskan sifat-sifat dari kedua serat yang pelan dan cepat. Gambar tersebut menunjukkan bagian-bagian serial dari soleus dari hewan yang diterbangkan di luar angkasa (kanan) dan di bumi (kiri). Panel atas menunjukkan pewarnaan gerakan serat otot yang cepat (2), dan gerakan serat otot yang pelan (1) diwarnai di panel bawah. Beberapa serat (3) positif baik terhadap pewarnaan serat cepat maupun pelan. Studi dilaksanakan untuk menyingkap sifat selular dan molekular dari fenomena ini, dan juga mengembangkan tindak lanjut seperti latihan fisik yang efektif.

Pertumbuhan Tanaman dan Morfogenesis

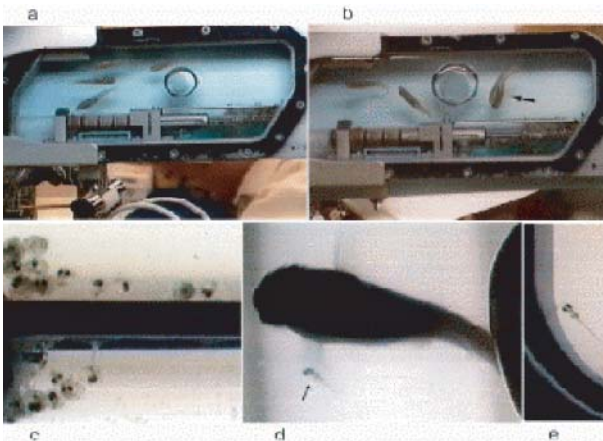


Pembentukan tunas dari biji mentimun dalam kondisi mikrogravitasi (STS-95, 1998)

Biji mentimun ditumbuhkan di bumi (A) atau di orbit (B). Tunas (ujung panah), akar (r) lapisan biji (s) hipokotil (h) kotiledon (c) ditunjukkan. Panel bawah menunjukkan ekspresi dari gen auxin-responsif CD-IAA1. Biji mentimun menumbuhkan tunas tunggal di sisi bawah. Eksperimen ruang angkasa menunjukkan bahwa biji memiliki potensi alami untuk menumbuhkan tunas di kedua sisinya dan bagian atas dihambat oleh gravitasi, dan tidak ditimbulkan di sisi bawah.

Eksperimen luar angkasa menghasilkan konsep bahwa tumbuhan memiliki keragaman potensi yang besar, tersembunyi di balik gravitasi, dan hanya sebagian kecil yang ditunjukkan dalam kondisi normal di bumi. Ekspektasi ditingkatkan untuk menemukan kemampuan yang di luar dugaan dari makhluk terestrial melalui eksperimen ruang angkasa mendatang.

Perkembangan Hewan

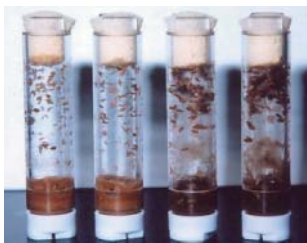
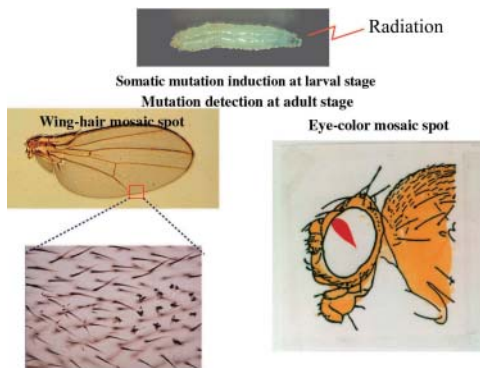


Demonstrasi kemampuan pembiakan hewan bertulang belakang (vertebrata) di orbit (IML-2, 1994)

a: Medaka (*Oryzias latipes*) di orbit b: perteluran dan inseminasi c: mengembangkan embrio d,e: anak ikan yang baru menetas.

Celah pada telur hewan amfibi dimulai dengan arah gravitasi. Gravitasi sangat mempengaruhi morfologi dari embrio yang berkembang, tetapi menjadi normal pada fase berikutnya. Eksperimen dengan ikan kecil Medaka, perteluran, inseminasi dan pengembangan berlangsung tanpa adanya masalah yang berarti. Anak ikan yang lahir di ruang angkasa tumbuh dan meninggalkan keturunannya setelah kembali ke bumi.

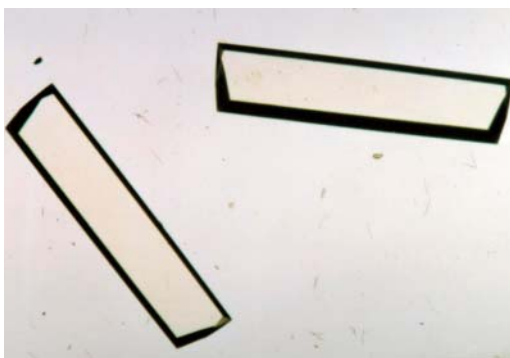
Biologi Radiasi Luar Angkasa



Suatu skema deteksi yang sangat sensitif untuk efek radiasi dengan mutasi somatis pada lalat buah (*Drosophila sp.*) dan botol berisi lalat digunakan untuk eksperimen di Kapal Ulang Alik.

Dosis radiasi ionisasi sehari pada orbit bumi yang rendah sama dengan setahun di bumi. Dosis demikian tidak segera menjadi ancaman, tetapi resikonya harus dianalisa untuk waktu yang lebih lama di ISS atau di basis bulan, atau untuk eksplorasi ke Mars. Banyak eksperimen telah dilaksanakan di orbit, dan perlu adanya studi lebih lanjut, karena kompleksitas kualitas radiasi termasuk partikel berat berenergi tinggi dan neutron sekunder, dan efek sinergis yang dapat terjadi dengan mikrogravitasi.

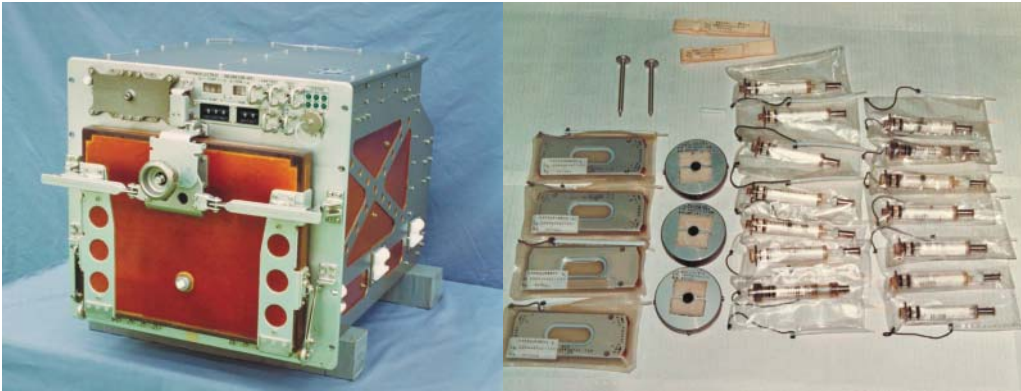
Pertumbuhan Kristal Protein



Kristal protein yang ditumbuhkan dalam mikrogravitasi (ω -asam amino; pyruvate amino-transferase, *Pseudomonas sp.* F-126)

Karena terbebas dari gangguan seperti konveksi atau sedimentasi, mikrogravitasi lebih disukai untuk menumbuhkan kristal protein. Sejak tahap awal dari eksperimen ruang angkasa, telah diusahakan untuk mendapatkan kristal protein berkualitas baik yang cocok untuk analisis struktur dengan difraktometri X-ray. Sekarang ini, eksperimen penerbangan sistematis yang mendayagunakan berbagai kesempatan dioperasikan dengan kolaborasi antara industri, akademisi dan pemerintah.

Teknologi dan Peralatan Eksperimental



Inkubator termolistrik (kiri) dan instrumen pengkulturan sel (kanan)

Eksperimen ruang angkasa berbeda jauh dengan yang di bumi dalam hal ketergantungan pada peralatan. Akan lebih efisien untuk berkolaborasi dengan teknisi mekanis dan pengoperasian ruang angkasa daripada hanya seorang biologis yang berjuang untuk mengembangkan peralatan dan tugas berat lainnya sendirian. Dukungan dari ahli eksperimen ruang angkasa sangat penting untuk perencanaan awal, perbaikan kondisi eksperimen, perancangan peralatan, verifikasi dan operasi penerbangan.

Hal-hal yang Dipelajari

Eksperimen luar angkasa harus direncanakan dengan pengertian bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar dengan praktek laboratorium di bumi.

Beberapa proses yang sangat penting tidak dapat dilakukan oleh peneliti.

Jumlah sampel dan percobaan yang terbatas.

Waktu lead yang lama dan jadwal yang ketat.

Prosedur termasuk persiapan sample dijadwalkan dengan ketat.

Jangka waktu tidak berorientasi biospesimen.

Waktu lead yang lama akan menjadikan eksperimen tertinggal oleh kemajuan ilmu pengetahuan kehidupan.

Kriteria semua atau tidak sama sekali seringkali sulit diterapkan pada kondisi biospesimen.

Kurangnya hasil eksperimen sebelumnya.

Kesulitan dalam menerbitkan hasilnya.

Pentingnya Menyelesaikan Masalah Praktis

Apakah masalah-masalah praktis bersifat inferior ?

Baik masalah tersebut bersifat ilmiah ataupun umum, dapat menyebabkan kegagalan.

Pertimbangkan kembali pentingnya akademisme dan kurangi perhatian terhadap pekerjaan praktis.

Apakah keahlian eksperimental atau instrumen peralatan tidak menjadi salah satu bidang akademis?

Hilangkan pandangan tetap bahwa ilmuwan hanya berkarya di bidang ilmu pengetahuan saja.

Titik beratkan kepentingan bukan hanya pada prestasi pengetahuan yang sempit tetapi juga pada teknologi pendukung.

Sistematisasi teknologi eksperimental di ruang angkasa.

Ilmu pengetahuan tingkah laku untuk kolaborasi yang efektif di antara beragam ahli.

Perlunya penghargaan yang adil bagi koordinator program dan teknisi pendukung.

Sistem evaluasi yang tepat harus dibuat bagi usaha-usaha yang dilakukan oleh personil pendukung misi.

Meningkatkan Analisa terhadap Hasil hingga Tingkat yang Memuaskan

Pertimbangan ulang terhadap misi yang telah berhasil adalah penting.

Analisa kegagalan seharusnya tidak menjadi alasan.

Tidak boleh ada yang dianggap sebagai kegagalan meskipun menurut situasi yang diamati adalah demikian.

Penekanan bagian misi yang berhasil mungkin diperlukan dalam kondisi tertentu, dan peneliti harus menahan diri dari bersikap terlalu propaganda.

Institusionalisasi proses untuk mengevaluasi hasilnya, gali hal-hal yang dipelajari dan transfer pengetahuan/pengalaman yang sudah terkumpul untuk misi selanjutnya.

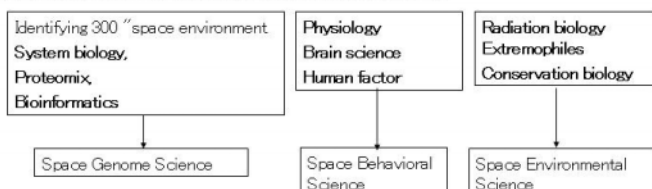
Kumpulan data penerbangan, skema bagi setiap orang untuk mengakses data tersebut.

Dukung peneliti untuk melaksanakan analisa data penerbangan.

Seluruh proses eksperimen ruang angkasa mulai dari perencanaan, persiapan di bumi, operasi penerbangan, analisa data, dokumentasi hasil riset, dll harus ditingkatkan hingga tingkat akademi.

Prospek Ilmu Pengetahuan Kehidupan Luar Angkasa

Exploit the new frontier of research field, overcome the international competitions by prioritizing the research topics and international collaborations

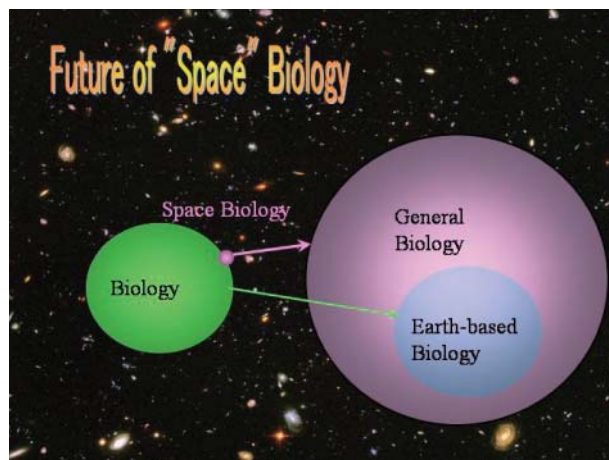


Construct a information flow between ISS and ground. Maintain the dignity of the nation and raise the raison d'être of the nation. Contribute to Asia and world.

Extend the region of human activity:

- Exploration to planets / Space tourism

- Global human welfare and prosperity.



Background image credit: NASA and STScI

Material Science

物質科学分野

Tujuan dari Eksperimen Luar Angkasa

- 1 Promosi ilmu pengetahuan dan teknologi yang mendayagunakan lingkungan mikrogravitasi tanpa gangguan yang disebabkan oleh gravitasi.**
 - ▶ Kemajuan ilmu pengetahuan materi yang mendayagunakan no-buoyancy, tanpa sedimentasi, tanpa konveksi termal, tanpa tekanan hidrostatis.
 - ▶ Pengembangan teoritis dalam ilmu pengetahuan mengenai cairan, pembakaran dan seterusnya.
 - ▶ Pengembangan teoritis dalam fisika dasar dan kimia dasar
 - ▶ Kemajuan teknik dan proses manufaktur.
- 2 Dibangunnya ilmu pengetahuan yang tergantung gravitasi.**
 - ▶ Penciptaan dan promosi ilmu pengetahuan yang baru di mana di dalamnya fenomena dijelaskan sebagai fungsi gravitasi.
 - ▶ Eksplorasi fenomena baru dan prinsip baru dalam bidang fisika, kimia, ilmu pengetahuan materi, ilmu pengetahuan cairan dan seterusnya.
- 3 Kontribusi terhadap kegiatan ruang angkasa berawak**
 - ▶ Pengembangan materi baru yang tidak terbakar dan ringan.
 - ▶ Kemajuan dalam perpindahan panas dalam mikrogravitasi, pembuangan panas, teknologi anti api dan seterusnya.
 - ▶ Pengembangan generasi dan penyimpanan energi yang efisien, dan teknologi hemat energi.

Jumlah total eksperimen ruang angkasa dan klasifikasi.

Total 122 eksperimen dilakukan selama periode antara 1973 dan 1998, dan organisasinya dikelompokkan menjadi NASDA 83, Kementerian Perdagangan dan Industri Nasional (Ministry of International Trade and Industry /MITI) 21, Perusahaan swasta 9, ISAS 3, Studi individual 6. Area penelitian mereka dikelompokkan sebagai berikut.

Area Penelitian	No. of Experiments
Pemrosesan Materi (79)	
Semikonduktor	29
Logam/alloy	20
Komposit	7
Kaca/keramik	6
Materi organik	10
Oksida	2
Lainnya	5
Ilmu Pengetahuan Cairan (37)	
Difusi	19
Konveksi Marangoni	8
Konduktivitas termal	2
Dinamika Jatuh	1
Dinamika Gelembung	3
Pendidihan dan Perpindahan Panas	3
g-jitter	1
Ilmu Pengetahuan Pembakaran (2)	
Pembakaran Bahan Bakar	2
Lainnya (4)	4

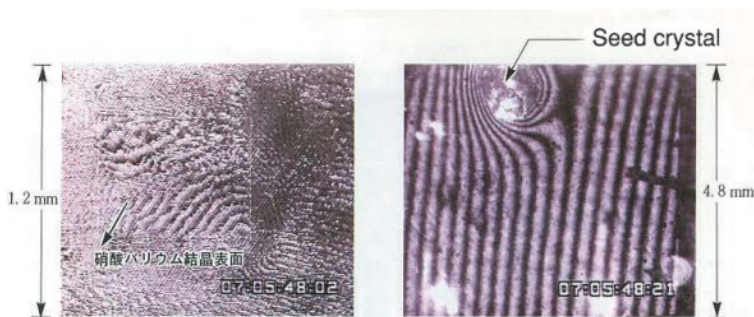
Klasifikasi Eksperimen Pemrosesan Materi Berdasarkan Teknik

Metodologi	Jumlah Eksperimen
Pengerasan (Solidifikasi) dari Lelehan (Non-contact Floating)	39 (4)
Pertumbuhan Kristal dari Larutan (Observasi In-Situ)	18 (12)
Pertumbuhan Kristal dari Lelehan	11
Pertumbuhan Kristal dengan Metode Area Pengembangan	3
Pertumbuhan Kristal dari Tahap Uap	6
Sistesis Pembakaran	1
Sintering	1

*() menandakan penghitungan rangkap

Hal-hal utama yang dicapai

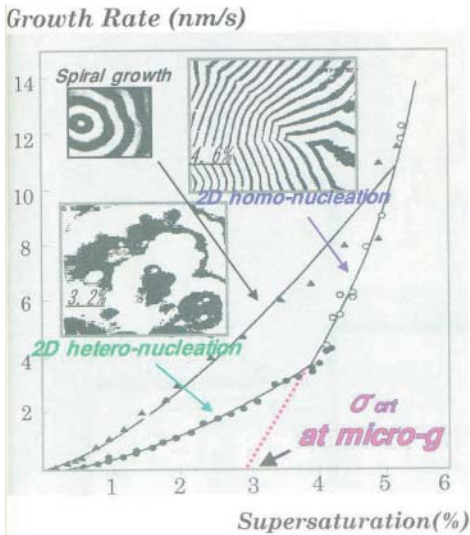
Pengukuran Distribusi Kepadatan (densitas) sekitar Kristal yang Sedang Bertumbuh.



Gambar 1. Observasi In-situ terhadap kepadatan (densitas) cairan di sekitar kristal yang bertumbuh dengan interferometri.

Kedua foto di atas menunjukkan perbedaan kepadatan cairan di sekitar kristal BaNO_3 yang sedang bertumbuh dalam larutan cairan. Observasi dilakukan dengan interferometer. Observasi dalam mikrogravitasi tersebut dimungkinkan untuk pertama kalinya dengan mengembangkan interferometer yang kecil dan padat untuk eksperimen ruang angkasa. Bagian-bagian pinggir yang melingkar-lingkar di sekitar kristal menunjukkan gradient distribusi kepadatan (densitas) yang tinggi di daerah sekitar kristal. Hubungan antara tingkat pertumbuhan dan derajat supersaturasi dari larutan diperoleh dari serangkaian eksperimen seperti ditunjukkan di Gambar 2.

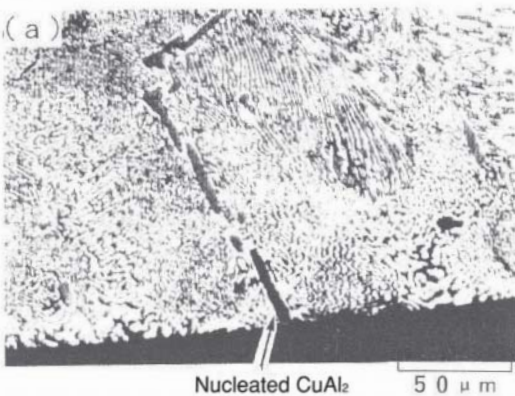
Mekanisme Pertumbuhan Kristal dari Larutan



Gambar 2. Hubungan antara tingkat pertumbuhan dan derajat supersaturasi dalam pertumbuhan $BaNO_3$ dari larutan cairan.

▲ menandakan tingkat pertumbuhan yang diamati di bumi. Ingatlah bahwa tingkat pertumbuhan meningkat hampir proposional secara linier terhadap derajat supersaturasi. Sementara, tingkat pertumbuhan meningkat tiba-tiba sebesar 3% dari supersaturasi dalam mikrogravitasi (● dan ○). Perbedaan ini diartikan sebagai berikut: nukleasi heterogen 2 dimensi muncul di bumi akibat ketidakhomogenan dan/atau partikel yang dipindahkan ke permukaan kristal yang sedang bertumbuh oleh konveksi dalam cairan, sementara nukleasi homogen muncul dalam mikrogravitasi akibat penekanan konveksi. Ini adalah contoh pertama yang menunjukkan bahwa gravitasi mempengaruhi nukleasi dalam pertumbuhan kristal dari larutan.

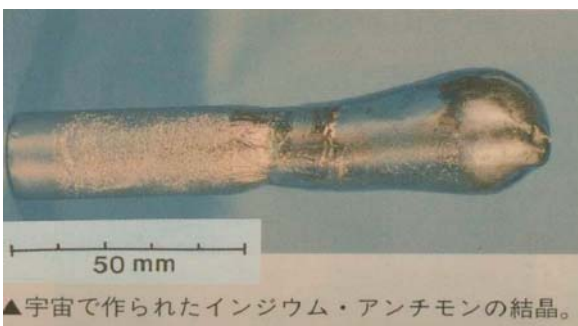
Mekanisme Pengerasan (Solidifikasi) Eutectic Alloy



Gambar 3 Tekstur sebuah alloy Cu yang dibuat keras dalam mikrogravitasi.

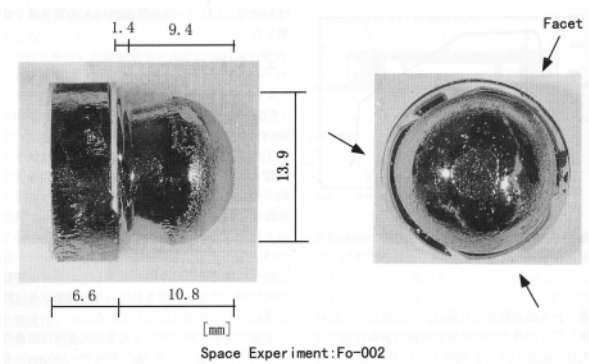
Foto ini menunjukkan tekstur sebuah alloy dengan komposisi Al 33,5 % massa Cu, di mana komposisi ini sedikit berlebih terhadap komposisi eutectic. Kristal $CuAl_2$ pertama memulai nukleasi pertama pada tanda panah. Hasil ini menjelaskan model migrasi nuklei di mana nukleasi terjadi pada daerah yang lebih dingin yang dapat ditentukan seperti di dinding dan nuklei dipindahkan ke dalam lelehan oleh konveksi. Model pembuatan nuclei seperti pecahnya lengan dendrite dan nukleasi dalam lelehan disangkal. Penemuan ini digunakan untuk pengembangan kualitas materi pencetakan seperti pisau turbin.

Proses Manufaktur Kristal Semikonduktor Berkualitas Tinggi, yang Terbesar yang Pernah Diproses di Ruang Angkasa



Gambar 4. Sebuah kristal $InSb$ yang ditumbuhkan dengan metode area pengambangan (floating zone method) di ruang angkasa.

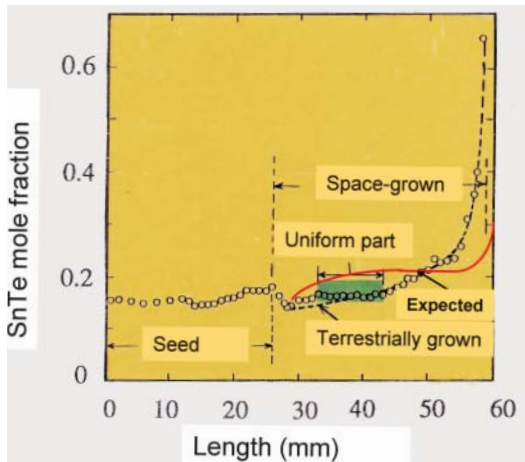
Di bumi lelehan $InSb$ diameter 6 mm adalah ukuran maksimum yang dapat dibuat mengambang karena lelehan turun oleh beratnya. Sementara dalam mikrogravitasi, lelehan dengan ukuran yang lebih besar dapat ditunda akibat ketiadaan berat dan akibatnya kristal $InSb$ berdiameter 20 mm (ukuran terbesar yang pernah ditumbuhkan di ruang angkasa) telah diperoleh dengan metode area pengambangan (floating zone method) seperti ditunjukkan di gambar. Kepadatan setiap celah adalah kira-kira $10^2 cm^{-2}$, yaitu 2 order lebih kecil daripada yang ditumbuhkan di bumi dan menghindari tekanan mekanis dari dinding yang dapat ditentukan dapat memberikan kontribusi reduksi dislokasi seperti itu.



Gambar 5. Pertumbuhan kristal CdTe yang detached di ruang angkasa.

Ujung dari kristal adalah bagian pertumbuhan yang detached dan tanda panah menunjukkan daerah yang difasetkan. Kristal CdTe cenderung untuk membentuk kembaran, tetapi proses kembaran dihindari dalam eksperimen ini akibat pertumbuhan yang bebas dari tekanan mekanik dengan detaching ke dinding yang dapat ditentukan. Kepadatan (Densitas) dislokasi adalah sekitar $2 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$, yang adalah kira-kira satu order lebih kecil daripada bagian yang diregangkan. Teknik untuk menekan dislokasi tersebut berguna untuk fabrikasi IC (Integrated Circuit) skala besar dari semikonduktor gabungan karena spesifikasi yang uniform diperlukan dalam peralatan tersebut.

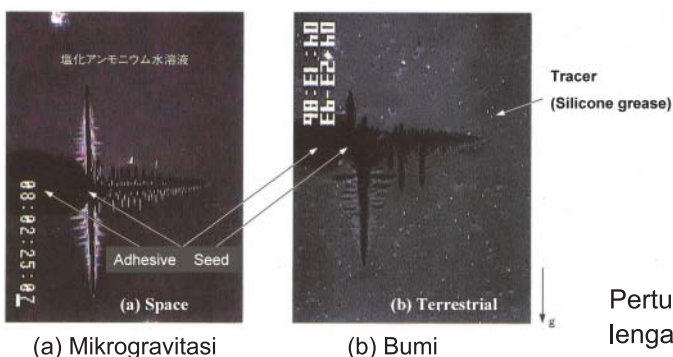
Penemuan Pertumbuhan Kristal Semikonduktor yang Uniform Secara Komposisi di Ruang Angkasa



Gambar 6. Perbandingan sifat komposisi dari semikonduktor $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ yang diproses di ruang angkasa/di bumi.

Panjang dari kristalisasi homogen di ruang angkasa tidak cukup lama seperti yang diharapkan, seperti yang ditunjukkan oleh garis merah dan komposisinya juga tidak seperti yang diharapkan, yang menunjukkan bahwa efek konveksi masih ada dengan anggapan akibat adanya gravitasi yang tersisa. Analisa menunjukkan bahwa 10^{-6} g diperlukan untuk menumbuhkan kristal uniform. Berdasarkan pada eksperimen ini, sebuah metode pertumbuhan kristal yang baru yang dinamakan sebagai Travelling Liquidus-Zone (disingkat sebagai TLZ) telah ditemukan dan kristal alloy uniform akan ditumbuhkan dengan metode TLZ.

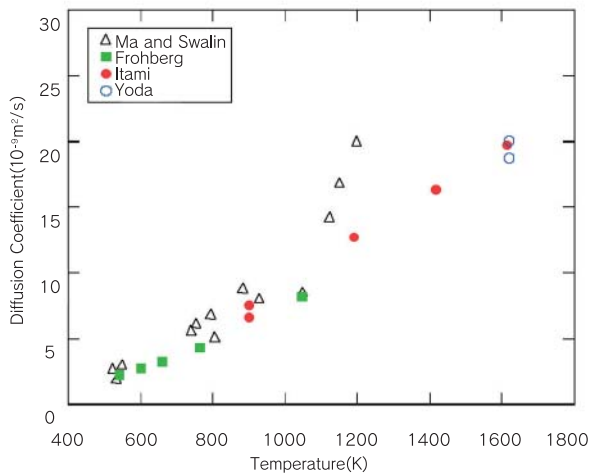
Efek Konveksi pada Pertumbuhan Dendrite



Gambar 7. Perbandingan pertumbuhan dendrite dalam mikrogravitasi dan di bumi.

Pertumbuhan dalam mikrogravitasi (kiri a) menunjukkan lengan dendrite yang simetris, sementara yang di bumi (kanan b) menunjukkan pertumbuhan yang asimetris, yaitu lengan dendrite menggantung ke bawah akibat konveksi alami.

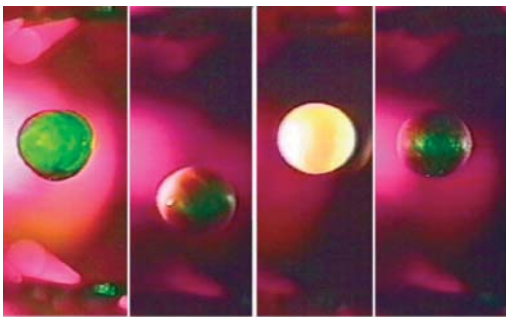
Ketergantungan Suhu Eksak pada Koefisien Difusi



Gambar 8. Koefisien difusi diri (self-diffusion) dari Sn; perbandingan hasil baru dan lama.

Koefisien difusi ditemukan bersifat proporsional terhadap $1,8-2,0$ tenaga dari suhu berdasarkan pengukuran akurat dengan menekan konveksi pada couple difusi dalam mikrogravitasi, yang menyangkal ketergantungan suhu tipe Arrhenius pada koefisien difusi. Δ menunjukkan data bumi dan sisanya adalah yang diukur dalam mikrogravitasi. Penemuan ini mendesak kita untuk mencari model difusi baru selain mode aktivasi termal tradisional melalui kekosongan (vacancies).

Sintesis Materi Baru dengan Tungku Levitasi Elektrostatis

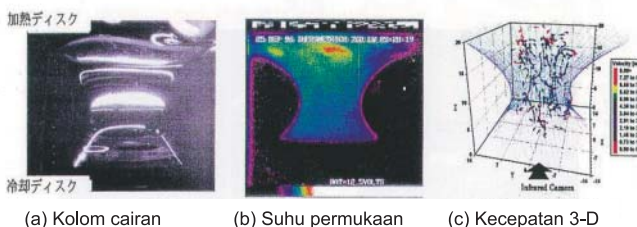


(a) (b) (c) (d)

Gambar 9. Pemrosesan keramik BiFeO_3 , (a): pengembangan (floating), (b): pemanasan (heating), (c): pelelehan dan

Pemrosesan sample keramik dengan pengembangan telah berhasil untuk pertama kalinya dengan menggunakan tungku levitasi elektrostatis. Analisa sample menunjukkan adanya mikrokristal dalam tekstur amorphous, perubahan arah dalam lompatan magnetisasi sekitar 50K, dan suatu konstanta dielektrik yang sangat tinggi yang lebih dari 15000.

Observasi 3-D dari Aliran Marangoni

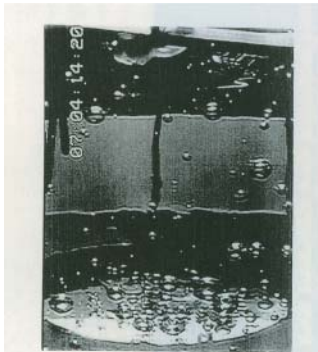


(a) Kolom cairan (b) Suhu permukaan (c) Kecepatan 3-D

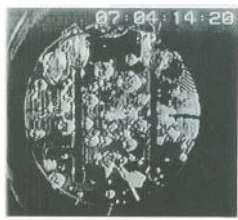
Gambar 10. Observasi aliran osilator 3-D di dalam kolom cairan minyak silikon.

Gambar menunjukkan (a): Kolom cairan minyak silikon, (b): Gambar distribusi suhu permukaan dengan sebuah termometer inframerah, (c): Distribusi kecepatan aliran yang diperoleh dengan merunut tracer partikel di dalam cairan, secara berurutan, observasi 3-D merupakan yang pertama berhasil dalam eksperimen ini.

Observasi Gelembung Mendidih dan Film Cairan Tipis



permukaan pemanasan

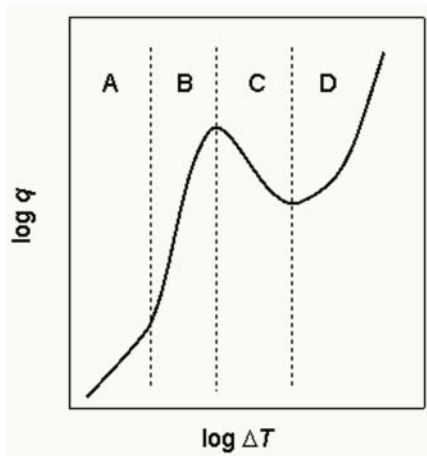


gambar bagian bawah pemanasan

Gambar 11. Observasi gelembung mendidih di dalam mikrogravitasi.

Bila gelembung dari uap dibentuk pada permukaan pemanasan, di sana muncul film tipis seperti membran yang menempel ke permukaan pada bagian bawah gelembung. Film skala kecil ini memainkan peran penting untuk menentukan karakteristik perpindahan panas pada skala besar.

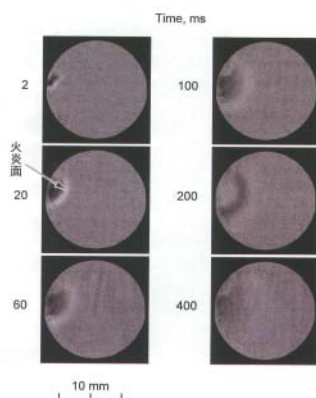
Kurva Didihan; Hukum Nukiyama



Gambar 12. Perbedaan suhu dari dinding dan cairan aliran ΔT vs. perubahan panas q .

Kurva didihan memiliki kecenderungan seperti ditunjukkan pada gambar kiri; daerah A yang sedang bertumbuh secara proporsional, daerah B yang bertumbuh secara curam, daerah degradasi D akibat efek film cairan. Secara umum dalam kasus air, suhu dinding antara batas B dan C adalah sekitar 120°C , antara C dan D lebih dari 200°C . Berhati-hatilah bahwa absissa dan longitudinal keduanya adalah skala eksponensial.

Propagasi Asap Pembakaran Lemah



Gambar 13. Observasi asap pembakaran untuk tetesan bahan bakar uap ke dalam ruang

Foto-foto ini menunjukkan suatu rangkaian propagasi asap yang diamati dalam eksperimen roket bersuara TR-IA. Asap yang sangat lemah dipropagasi dari sisi kiri atas dan menghilang di tengah jalan. Propagasi asap lemah tersebut dalam kondisi suplai oksigen dengan difusi adalah yang pertama diamati dalam eksperimen ini. Hasil ini memaksa kita untuk mempertimbangkan ulang efek konveksi cairan dan radiasi panas selama pembakaran.

Aparatus untuk eksperimen

Fenomena yang tidak umum terhadap mikrogravitasi harus selalu diingat.

1. Pengeluaran gelembung dengan perbedaan kepadatan (densitas) adalah tidak mungkin.
2. Perpindahan panas adalah terutama akibat konduksi, ketimbang konveksi.
3. Konveksi marangoni menjadi dominan, bila terdapat permukaan cairan yang bebas.
4. Wettability (kompatibilitas antara materi dan kontainer) menjadi lebih kuat, dan materi yang sudah dilelehkan lemah terhadap adanya kenaikan kebocoran sepanjang permukaan dari yang dapat ditentukan.

Teknik yang diperoleh dengan suatu seri eksperimen ruang angkasa

Teknik percobaan yang diperoleh FMPT (Uji Coba Pemrosesan Materi Pertama pada 1992) dan eksperimen roket bersuara diringkaskan pada tabel berikut. Akuisisi data dan pengembangan teknik percobaan penting dan harus dilanjutkan. Sebagai tambahan, pembuatan basis data dan penerbitannya diharapkan untuk penggunaan yang lebih luas.

Teknik percobaan yang diperoleh.

Teknologi	Misi	Perangkat keras dan lunak, pengalaman
Beberapa Simulasi Termodinamik untuk Kontrol Suhu	FMPT, IML-2, MSL-1, TR-IA	Tungku listrik, Perangkat lunak untuk menganalisa distribusi suhu dari interior tungku, untuk memperkirakan konveksi dengan residu g, dan tingkat pertumbuhan kristal dll.
Observasi In-situ	TR-IA	Interferometri dengan menggunakan Interferometer 2 gelombang real time phase-shift, dan sebuah kamera kecepatan tinggi
Pendayagunaan Elektronik untuk Penggunaan Komersial	FMPT, IML-2, TR-IA	VTR Dijital, Video Kamera
Penyimpanan yang Lama Dari Sampel Percobaan	FMPT, IML-2, MSL-1, TR-IA	Eksperimen pertumbuhan kristal (organik, anorganik) Percobaan cairan
Perpindahan Sampel Percobaan	FMPT, IML-2, MSL-1, STS-95 STS-107	Eksperimen koloid Monitor getaran dan kontrol, Monitor suhu dan control

Pengalaman dan Hal-hal yang Dipelajari

1 Eksperimen bumi 95%, Eksperimen ruang angkasa 5%

Pentingnya eksperimen bumi (persiapan), eksperimen ruang angkasa adalah ekstensi dari eksperimen bumi.

Parameter berubah bila eksperimen ruang angkasa sangat sulit.

2 Eksperimen ruang angkasa didasarkan pada kerjasama tim

Kolaborasi dan kerjasama antara ilmuwan, penyusun perangkat keras, teknisi operasi, personil sekretaris, eksekutif manajerial terlihat penting.

3 Pentingnya beberapa simulasi

Gerak cairan paling dicontohkan oleh keadaan mikrogravitasi, dan prediksi fenomena yang telah diantisipasi dalam mikrogravitasi dapat dicapai dengan beberapa simulasi hingga tingkat yang memuaskan.

4 Kombinasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi

Untuk mencapai tujuan yang ilmiah, diperlukan metodologi (teknologi dan teknik) yang tepat.

5 Terbiasa dengan perangkat keras penerbangan

Persiapan bumi harus dilaksanakan oleh perangkat keras yang persis sama dengan yang akan digunakan pada penerbangan, demikian juga sampel/prosedur.

6 Banyaknya praktek tidak berarti anda mengabaikan bahaya

Bila ukuran sampel dibuang, tangani sampel seolah-olah seperti sama sekali baru.

7 Kejadian yang tidak diharapkan dapat menghasilkan pencapaian baru: Kebetulan.

8 Penelitian orisinal berasal dari perangkat lunak orisinal

Observasi In-situ dengan interferometer phase-shift menyingkapkan mekanisme pertumbuhan kristal.

Observasi 3-D dari bidang cairan mengembangkan penelitian aliran Marangoni.

Teknik sel lengkap memungkinkan kita untuk melakukan pengukuran yang tepat dari koefisien difusi.

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

