

文献調査1

日本の有人宇宙活動に向けた 生命維持システム技術に関する考察 — 要素技術の分析 —

2009生態工学会年次大会発表原稿に加筆

目的

- 有人宇宙システムの豊富な開発実績がある米国の研究や技術開発戦略を参考に、日本の生命維持システム技術についてまとめる。
 - 日本国内の学会で発表された研究発表について調査し、生命維持システムの要素技術の分析を行う。
 - 将来の日本の有人宇宙活動における生命維持システム開発の議論のたたき台となる資料を作成する。

研究の背景と動機

- 背景: ポストISSの有人宇宙活動。
 - 国際宇宙ステーション(ISS)の建設が2011年の完成を目指して進む。
 - 2004年にポストISSとして米国が新宇宙探査ビジョンを発表。
 - (2010年2月オバマ大統領コンステレーション計画中止を発表)
 - 有人月探査に関するシステムスタディ、ESAS (Exploration Systems Architecture Study)が2005年に発表。
 - 生命維持システムの分野では、米国の有人宇宙船(CEV: Crew Exploration Vehicle)の開発に続き、[月面着陸機](#)、[月面拠点](#)の検討結果が報告。
 - [生命維持システムの要素技術分析資料](#)作成。
- 動機: 将来の日本の有人宇宙活動における[生命維持システム開発の議論のたたき台](#)となる同様の資料が必要。
 - 次期有人宇宙船の生命維持システム開発に関する国際会議での議論。
 - NASA契約企業からNASAへの生命維持システム技術調査報告書。
 - CELSS研究会から20年(2009年)。

日本の有人宇宙システム開発の歴史

- 有人宇宙システム開発
 - ISSの元になった宇宙ステーション計画は1982年にNASAで検討開始。
 - 1982年8月、日本では宇宙開発委員会の下に宇宙基地計画特別部会が設置。
 - 2008年6月、国際宇宙ステーション(ISS)に日本実験モジュール(JEM)本体が接続。26年目に日本が自国の有人宇宙実験施設を持った。
 - 2009年7月、日本実験モジュール(JEM)完成
- 学会での生命維持システム関連発表
 - 1983年スペースステーション講演会
 - 1985年から2003年まで宇宙ステーション講演会(日本航空宇宙学会)が開催。1994年からは有人宇宙飛行技術シンポジウムと合同。
 - 1985年以降、宇宙科学技術連合講演会(日本航空宇宙学会)に有人技術関連のセッションが継続的に設けられる。
 - 1989年5月にはCELSS研究会第1回学術講演会が開催され、2001年以降は生態工学会年次学術講演会として続いている。

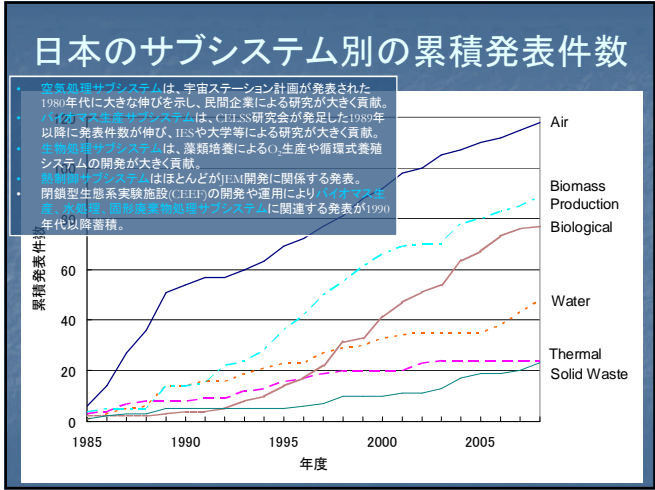
宇宙農業通信 第28号(28 April, 2007)抜粋

- スペースシャトルの軌道上運用が1981年にはじまると、米国では次の宇宙開発の計画として宇宙ステーションがとえられ、国際的な協力の要請もなされました。当時日本ではスペースラブでの日本の宇宙実験の準備がすすめられ、長友先生も生物関係の実験に関与されていました。宇宙ステーションを日本でどのようにすすめるかを検討するために、当時3つあった日本の宇宙の組織(ISAS, NASDA, NAL)から長友信人、齊藤勝利、新田慶治、山中龍夫の4氏があつまってタスクフォースがつけられました。そのもとに広く研究者が組織され、宇宙ステーションは、なのために、どのようにしてつくるのが、熱く討論されたのです。

調査対象と調査方法、分類方法

- 調査対象
 - 当初、資料の集めやすさから学術論文を対象とすることも考えたが、幅広く情報を集めるために学会発表を対象とした。
 - 宇宙ステーション講演会、宇宙科学技術連合講演会、生態工学会年次学術講演会で生命維持システムに関わる発表。26年間で591件の発表。
- 調査内容
 - 講演集を集め、年席、セッション、タイトル、著者、著者所属機関、所蔵文献をデータベースとしてまとめた。
- 分類方法
 - 統計解析、テキストマイニング、特許分析法による分類を検討したが、一分野あたりの件数が少ないことや、人による判断が必要であるとの考えから手作業による分類を採用。
 - 講演集をもとに、生命維持システムのサブシステム、機能、要素技術のタグをすべての発表に付ける。
 - 最終的に、同一機関による同一研究を1件の要素技術としてカウントし、最新の成果に対してNASAの持つ技術評価基準TRL (Technology Readiness Level)を判定。

年次	国	機関	サブシステム	機能	要素技術数	発表者
1	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
2	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
3	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
4	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
5	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
6	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
7	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
8	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
9	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
10	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
11	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
12	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
13	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
14	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
15	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
16	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
17	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
18	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
19	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
20	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
21	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
22	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
23	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
24	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
25	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
26	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
27	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
28	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
29	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
30	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
31	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
32	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
33	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
34	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
35	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
36	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
37	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
38	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
39	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
40	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
41	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
42	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
43	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
44	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
45	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
46	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
47	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
48	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
49	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。
50	EE	1989	14	Air	CO2還元	宇宙ステーション計画が発表された1980年代に大きな伸びを示し、民間企業による研究が大きく貢献。



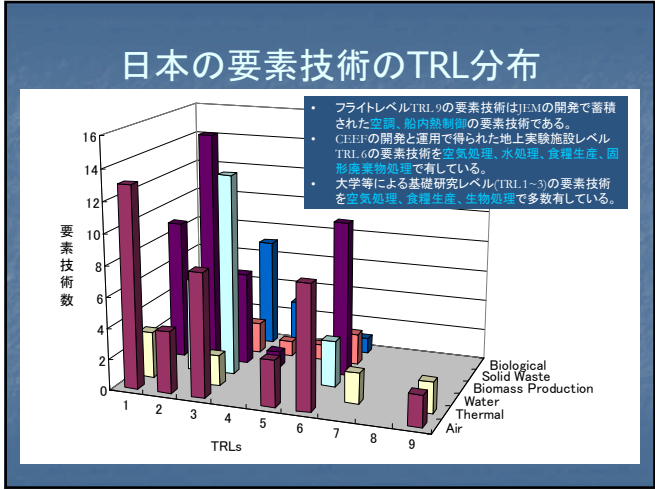
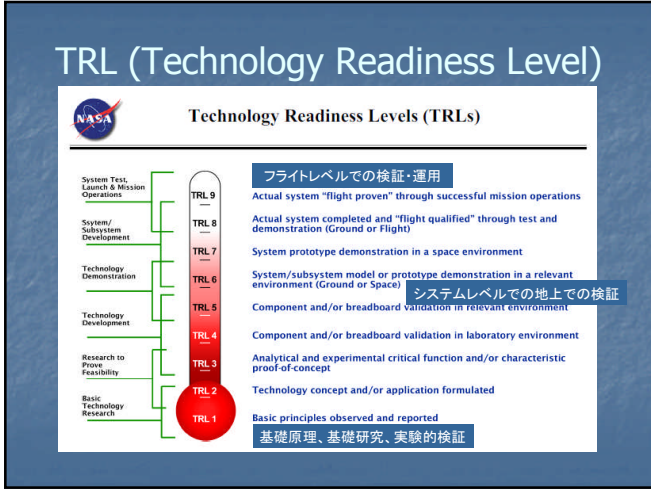
サブシステムと機能

サブシステム	機能	要素技術数
空気処理 Air	CO ₂ 還元、CO ₂ 分離、O ₂ 生成、O ₂ 分離、空調、空気組成調整、微量有害ガス処理	38
熱制御 Thermal	蓄熱、放熱、熱制御	9
水処理 Water	水処理、水質管理、ミネラル化	23
バイオマス生産 Biomass Production	食糧生産	41
固形廃棄物処理 Solid Waste	廃棄物安定化、減量化、資源回収	11
生物処理 Biological	O ₂ 再生、衛生、食糧生産、微生物管理	17

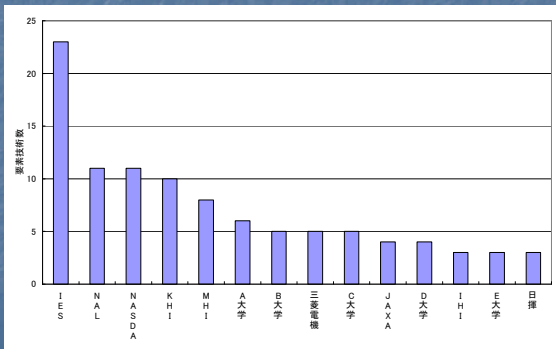
他に、研究構想、システム検討、居住技術、食品技術がある。

要素技術(空気処理サブシステム)

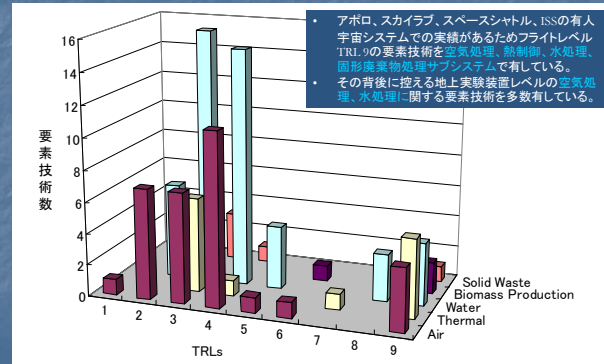
機能	要素技術	組織
CO ₂ 還元	サハチエ、水電解	MHI
	サハチエ、水電解	IES
	窒素分離	NAL
CO ₂ 分離	ボツシュ	KRI
	サハチエ、蒸気加熱式	NASDA
	サハチエ	JAXA
O ₂ 生成	固体アモン	住友重機工業
	固体アモン(真空加熱再生)	IES
	固体アモン	三菱電機
O ₂ 分離	モレキュラシーブ	三菱電機
	マグネサイト	東工大
	固体アモン	NAL
空気組成調整	ニオライト	NAL
	固体アモン(真空加熱再生)	KRI
	固体アモン(真空加熱再生)	NASDA
空調	固体高分子水電解	MHI
	固体高分子水電解	NAL
	固体高分子水電解	KRI
微量有害ガス処理	膜分離(圧カスイング膜前)	ダイキン工業
	圧カス	IES
	電気化学	NAL
熱制御	コントロール	KRI
	コントロール	IES
	コントロール	NAL
水処理	フロンボートホップ、放射式蒸気熱交換	ダイキン工業
	圧カス	日立造船
	ハイパワード	日立造船
生物処理	微生物/糖質除去、空気循環、除熱・除湿、水回収、温度制御	NASDA
	ラジエーター、バランク・アルミ箔、アルカリ度調整、湿度調整	KRI
	微生物	IES
固形廃棄物処理	熱質フィルタ	神鋼マテリアル
	多相膜	丸栄
	セラミックス	IES
空気処理	セラミックス	MHI
	蓄熱槽構造	IES
	蓄熱・吸着	IES



開発組織 日本

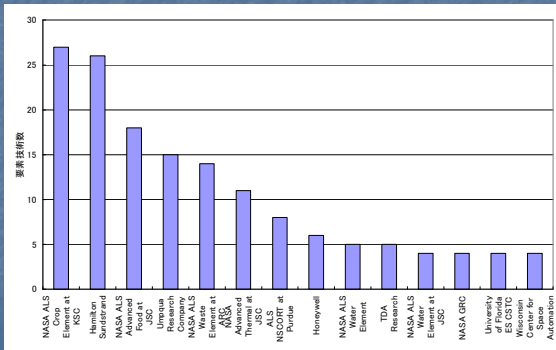


米国の要素技術のTRL分布



M. Anderson調査、宮嶋グラフ作成

開発組織 米国



まとめ

- 日本の生命維持システム研究データベースを作成し、日本の有人宇宙活動における生命維持システム開発の議論のたたき台となる要素技術に関する資料を作成した。(2009年時点)
- ここに挙げた要素技術は、すべてを網羅しているわけではなく、この研究はあくまで議論の端緒を意図したものである。
- 世界に先駆けた競争力を持つためには、このデータベースに未だ入っていない日本に眠る将来の要素技術の種を発掘することが必要であろう。
- このような調査をTRL 0(生命維持システムを意識して開発されていない要素技術)の発掘として継続していきたい。

文献調査2

国際環境システム会議(ICES)の調査

日本航空宇宙学会誌, 第58巻第673号(2010年2月)の原稿に加筆

目的

- 国際環境システム会議(ICES)の10年間の傾向をまとめ発表することにより、日本からの参加を促す。

調査対象と調査方法、分類方法

- 調査対象
 - 国際環境システム会議(ICES)で生命維持システムに関わる発表。2000-2009年の10年間で**2471件の発表**。
- 調査内容
 - 講演プログラムから、**年度、セッション、発表件数**をデータベースとしてまとめた。
- 分類方法
 - 統計解析、テキストマイニングの手法は採用せず、**手作業**により分類。
 - 10年間のセッションの廃止、統合、新設、名前変更を整理する。
 - オーガナイザーの継続性とセッション説明、論文内容を参考にセッションの関連付けを行う。最終的に40セッションに集約。

国際環境システム会議(ICES2009)

- 40セッション 発表件数250件
 - 米国8割弱、欧州2割弱、日本(5件)、ロシア
- 分野
 - 探査ミッション
 - 先端生命維持
 - 生命科学
 - スペースクラフト環境制御・生命維持システム
 - 環境制御・生命維持技術開発
 - シミュレーションソフトウェア・分析・モデル化 ※
 - スペースクラフトおよびエアークラフト熱制御システム
 - 船外活動
 - 宇宙建築
 - ヒューマンファクター

10年間のセッションの大分類(再構成)

- 100: Exploration Missions/Advanced Life Support
- 200: Life Sciences
- 300: Spacecraft/Vehicle ECLSS
- 400: ECLS Technology Development
- 500: Simulation Software/Analysis & Modeling
- 600: Spacecraft and Aircraft Thermal Control: Systems, Technology and Testing
- 700: Extravehicular Activity
- 800: Architecture and Human Factors

Code	Session	'09	'08	'07	'06	'05	'04	'03	'02	'01	'00
100	Advanced Life Support Missions, Requirements, Metrics				4	6	4	7			
100	Education Outreach	2	2	6	1	8	7				
100	Integrated Ground Test Facilities: Future Exploration Missions			4	3	7	5	3	10		
200	Life Science/Life Support Research Technologies	6	2	3	6	4	5	7	5	13	6
200	Microbial Factors Applied to Design	2	3	3	4						5
200	Planetary Protection and Astrobiology / In situ Resource Utilization	8	4	5	4	3	7	8	4	4	9
200	Plant Flight Hardware					16	6	14	13	13	15
300	CEV ECLSS and Thermal Control / CTV	5	9	12	3	4	4	2			
300	International Space Station ECLS	11	19	13	13	13	24	18	21	14	19
300	Lunar Life Support	6	4								
300	Management of Air Quality in Sealed Environments	6	8	4	6	7	7	6	7	5	8
400	Advanced Life Support Sensor and Control Technology	8	9	7	4	12	4	6	7	6	7
400	Biological Waste Processing & Microbial Processes						12	13	13	6	5
400	Biomass Production				3	9	5	7	7	9	5
400	Bioregenerative Life Support	7	8	7	7	15	7	10	8	5	14
400	Fire Safety in Spacecraft and Enclosed Habitats	10			5	6	7	7			
400	Food Processing			5	6	5	6	7	7		
400	Lunar and Martian Dust Properties and Mitigation Technologies	9									
400	Physico-Chemical Life Support Process Development	17	22	17	20	23	13	12	7	7	8
400	Physico-Chemical Processes: Air and Water	11	8	10	7	11	8	8		9	5
400	Regenerable Life Support Processes and Systems	3		7	9	9	6	6	6		4
400	Spacecraft Water/Air Quality: Maintenance and Monitoring	1	6	3	4	12	6	7	6	2	5
500	Advanced Life Support Systems Control	3	4	4	5	7	5	5	5	6	6
500	ECLSS Modeling and Test Correlations	8	4	5	4	10	5	6	8	6	6
500	Life Support Systems Engineering and Analysis	6	3	6	7	8	6	10	10	9	6
500	Thermal and Environmental Control Engineering Analysis and Software	4	7	3	5	14	11	14	6	9	15
600	Advances in Thermal Control Technology	6	7	7	6	8	8	9	12	10	10
600	Aircraft and Extravehicular Vehicle Environmental Thermal Control	4	6		5	5		4	6	6	10
600	Satellite Payload and Instrument Thermal Control	7	8	8	6	6	8	9	6	7	
600	Space Station Thermal Control	5	3	3	8	11	11	12	4	18	8
600	Spacecraft and Instrument Thermal Design, Testing and Technology	4	6		5	5		4	6	6	10
600	Thermal and Environmental Control for Lunar Base and Surface Systems	2	4								
600	Thermal Control for Planetary Surface Missions and Systems	5	5	7	5	3	6	4	4	4	6
600	Thermal Testing	7	5	10		3	8	11	4	2	13
600	Extravehicular Thermal Control Technology	5	8	12	12	11	12	6	11	14	31
700	Extravehicular Activity	40	23	33	30	14	19	15	20	20	22
700	Human Robotics System Integration	4	5	6	3						
800	Human Factors for Space Missions: Ground and Flight Operations	8	9	6	6	8	5	7	10	8	
800	Radiation Issues for Space Flight	4	4	8	13	6	10	8	12	12	6
800	Space Architecture	6	7	8	4	15	5	10	3	7	11

- 100: Exploration Missions/Advanced Life Support
- 200: Life Sciences
- 300: Spacecraft/Vehicle ECLSS

Code	Session	'09	'08	'07	'06	'05	'04	'03	'02	'01	'00
100	Advanced Life Support Missions, Requirements, Metrics				4	6	4	7			
100	Education Outreach	2	2	6	1	8	7				
100	Integrated Ground Test Facilities: Future Exploration Missions			4	3	7	5	3	10		
200	Life Science/Life Support Research Technologies	6	2	3	6	4	5	7	5	13	6
200	Microbial Factors Applied to Design	2	3	3	4						5
200	Planetary Protection and Astrobiology / In situ Resource Utilization	8	4	5	4	3	7	8	4	4	9
200	Plant Flight Hardware					16	6	14	13	13	15
300	CEV ECLSS and Thermal Control / CTV	5	9	12	3	4	4	2			
300	International Space Station ECLS	11	19	13	13	13	24	18	21	14	19
300	Lunar Life Support	6	4								
300	Management of Air Quality in Sealed Environments	6	8	4	6	7	7	6	7	5	8

400: ECLS Technology Development

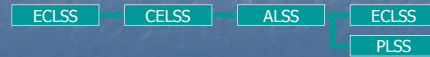
Code	Session	'09	'08	'07	'06	'05	'04	'03	'02	'01	'00
400	Advanced Life Support Sensor and Control Technology	8	9	7	4	12	4	6	7	6	7
400	Biological Waste Processing & Microbial Processes						12	13	13	6	5
400	Biomass Production				3	9	5	7	7	7	5
400	Bioregenerative Life Support	7	8	7	7	15	7	10	8	5	14
400	Fire Safety in Spacecraft and Enclosed Habitats	10									
400	Food Processing		5	6	5	6	7	7			
400	Lunar and Martian Dust Properties and Mitigation Technologies	9									
400	Physico-Chemical Life Support Process Development	17	22	17	20	23	13	12	7	7	8
400	Physico-Chemical Processes: Air and Water	11	8	10	7	11	8	8		9	5
400	Regenerable Life Support Processes and Systems	3		7	9	9	6	6	6		4
400	Spacecraft Water/Air Quality: Maintenance and Monitoring	1	6	3	4	12	6	7	6	2	5

500: Simulation Software/Analysis & Modeling
700: Extravehicular Activity

Code	Session	'09	'08	'07	'06	'05	'04	'03	'02	'01	'00
500	Advanced Life Support Systems Control	3	4	4	5	7	5	5	5		6
500	ECLSS Modeling and Test Correlations	8	4	5	4	10	5	6	8	6	6
500	Life Support Systems Engineering and Analysis	6	3	6	7	8	6	10	10	9	6
500	Thermal and Environmental Control Engineering Analysis and Software	4	7	3	5	14	11	14	6	9	15
700	Extravehicular Activity	40	23	33	30	14	19	15	20	20	22
700	Human/Robotics System Integration	4	5	6	3						

ICESの10年間の傾向

- 2004年の米国新宇宙政策以降、月や火星を意識したテーマが設定されるようになり、ここ数年でセッションの構成も変化している。
- 新しいセッションでは月面拠点を意識したECLSS (Environmental Control and Life Support System)や熱制御に関するセッションが新しく設けられ、特に新しいものでは月や火星のダストに関するセッションが加わっている。
- その他では、EVA (Extravehicular Activity)セッションの発表件数の増加が目立っている。これは月面拠点付近での有人広域探査を意識したようなPLSS (Potable Life Support Systems)関連の発表が増えているためである。
- 過去10年間のセッションの変化を見ると、CEV (Crew Exploration Vehicle)、月面探査、月面探査車を取り扱うセッションが2006年以降現れ、CELSS (Controlled Ecological Life Support Systems)やALSS (Advanced Life Support Systems)に関するセッションが減少している。地上実験施設や食糧生産関連セッションは、過去に日本からの参加者が多数の発表を行っていた分野でもある。
- 最近10年のさらに前の10年も含めて振り返るとすれば、ECLSS、CELSS、ALSSという系譜、そして今ALSSからECLSSとPLSSに分かれる2つの系譜を見て取ることができるかもしれない。



研究分野の層の厚みは国家プロジェクトに左右されている。国家プロジェクトは中止になる場合もある。中止になれば研究者は散逸、企業は撤退。