宇宙飛行体システムに対する EMC 仕様の変遷と今後の課題

非会員 宮島 大亮*

The Transition of Electromagnetic Compatibility Requirements for Spacecraft Systems and Future Action Items.

Daisuke Miyajima*, Non-member

キーワード：宇宙飛行体，電磁適合性

Keywords：Spacecraft, Electromagnetic Compatibility(EMC)

1. はじめに

宇宙飛行体(Spacecraft)システムの開発に際しては，そのおかれた環境の特殊性から，システムに対して様々な要求が存在する。図 1 に示す体系は，欧州宇宙規格(ECSS)で定義されている宇宙飛行体システムへの要求である。宇宙環境への適合性を検証する要素として，放射線環境・プラズマ環境・電磁環境等が挙げられる。

本稿では，宇宙飛行体システムの電磁環境を検証する電磁適合性(EMC)設計について，設計フロー・要求仕様の体系・区分および国際標準化の最近の動向と今後の課題について言及する。

2. 電磁適合性設計

宇宙飛行体は，必要な機能を制限された筐体に集約させるために，アナログ・デジタル・RF・電力といった電気信号が混在するという電磁干渉の可能性を秘めている。

そのため，開発の初期から製作後の試験による確認に至るまで，予め，検証計画を立案し，計画的に管理をしていく必要がある。

図 2 は，EMC 設計の検証フローの一例である。

図 2 に示す一例のように，プロジェクト発足当初にこうした計画を立案する。プロジェクト固有事項やミッション要求を加味することは当然であるが，この時，ガイドラインとして引用するのが，実質的業界標準の米国の MIL-STD-461C・1541 である。

3. MIL 規格

搭載機器に対する EMC 要求である MIL-STD-461 は，1967.07.31 に初版が制定された。日本の宇宙開発の創世記においては，A 版(1968.08.01)がもとになっている。最近の

プロジェクトは，C 版をベースとしている。宇宙開発事業団(NASDA)の EMC 設計基準も，C 版をベースとしている。D 版以降は，区分が全面改定され，以前の区分とは容易に比較できないため，現時点で実用されている例は少ない。図 3 に A 版における EMC 要求の区分を示す。

図 1 欧州宇宙規格(ECSS)エンジニアリング体系

図 2 EMC 設計の検証フロー (一例)

* NEC 東芝スペースシステム株式会社
〒224-8555 横浜市都筑区池辺町 4035
NEC TOSHIBA Space Systems, Ltd.,
4035 Ikebe-cho, Tsuzuki-ku, Yokohama 224-8555

表1 MIL-STD-461の改版履歴

版数	発行日	改版概要	備考
初版	1967.07.31		
A版	1968.08.01		1974.12 日本語訳発行 関西電子工業振興センター
Notice1	1969.02.07	ページ追加・削除	
Notice2	1969.03.20	適用範囲の変更(航空機関連)	
Notice3	1970.05.01	航空機・宇宙機関係 適用範囲・規格の見直し	1975.06 日本語訳発行 関西電子工業振興センター
Notice4	1971.02.09	多数箇所変更	
Notice5	1973.03.06	ページ追加・削除・差し替え	
Notice6	1973.07.03	ページ差し替え	
B版	1980.04.01	A版 Notice1~6 を取り込み	
C版	1986.08.04	項目の見直し 周波数範囲の見直し	NASDA-NDC-2-4-1 EMC 設計基準 1990.03
D版	1993.01.11	全面改定	
Notice1	1997.06.19	ページ差し替え	
E版	1999.08.20	462D を取り込み	ISO/DIS14302 にて引用

表3 MIL-STD-461E

仕様	区分	適用	周波数範囲
CE101	Conducted Emissions	Power Leads	30Hz~10kHz
CE102	(伝導雑音)	"	10kHz~10MHz
CE105	"	Antenna Terminal	10kHz~40GHz
CE101	Conducted Susceptibility	Power Leads	30Hz~150kHz
CS103	(伝導感受性)	Antenna Port, Inter-modulation	15kHz~10GHz
CS104	"	Antenna Port,	30Hz~20GHz
CS105	"	Rejection of Undesired Signals	
CS114	"	Antenna Port, Cross-Modulation	30Hz~20GHz
CS115	"	Bulk Cable Injection	10kHz~200MHz
CS116	"	Bulk Cable Injection, Impulse Excitation	
RE101	Radiated Emissions	Damped Sinusoidal Transients,	10kHz~200MHz
RE102	(放射雑音)	Cable and Power Leads	
RE103	"	Magnetic Field	30Hz~100kHz
RE103	"	Electric Field	10kHz~18GHz
RS101	Radiated Susceptibility	Antenna Spurious and Harmonics Outputs	10kHz~40GHz
RS103	(放射感受性)	Magnetic Field	30Hz~100kHz
RS103	"	Electric Field	2MHz~40GHz

表4 EMC関連の米国軍/NASA規格・ハンドブック

規格	発行日	タイトル	概要
MIL-STD-461E	1999.08.20	Requirements for The Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment	サブシステム・機器への要求
MIL-STD-464	1997.03.18	Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems	システム要求 Superseding MIL-STD-1814A MIL-STD-1385B MIL-E-6051D MIL-B-5087B
MIL-STD-1541A	1987.12.30	Electromagnetic Compatibility Requirements for Space Systems	システム要求 宇宙用
MIL-STD-463A Notice2	1995.02.27	Definitions and System of Units, Electromagnetic Interference and Electromagnetic Compatibility Technology	定義・用語集
MIL-HDBK-235-1B	1993.05.01	Electromagnetic (radiated) Environment Considerations for Design and Procurement of Electrical and Electronic Equipment, Subsystems and Systems	設計ハンドブック 放射環境
MIL-HDBK-1867	1998.03.27	Grounding, Bonding and Shielding Design Practices	設計ハンドブック 接地
NASA-HDBK-4001	1998.02.17	Electrical Grounding Architecture for Unmanned Spacecraft	設計ハンドブック 接地

Figure 5.1 - Organization Tree of MIL-STD-461A Test Specifications

図3 MIL-STD-461A仕様体系

表2 MIL-STD-461C Part 3 Category A2a (宇宙用)

仕様	区分	適用	周波数範囲
CE01	Conducted Emissions	Power and Interconnecting Leads	30Hz~15kHz
CE03	(伝導雑音)	"	15kHz~50MHz
CE06	"	Antenna Terminals	(Spurious)
CE07	"	Power Leads, Spikes	Time Domain
CS01	Conducted Susceptibility	Power Leads	30Hz~30kHz
CS02	(伝導感受性)	Power and Interconnecting Control Leads	50kHz~400MHz
CS03	"	Inter-modulation	15kHz~10GHz
CS04	"	Rejection of Undesired Signals	30Hz~20GHz
CS05	"	Cross-modulation	30Hz~20GHz
CS06	"	Spikes, Power Leads	Time Domain
CS07	"	Squelch Circuits	
(CS11)	"	Damped Sinusoidal Transients, Cables	10kHz~100MHz
RE01	Radiated Emissions	Magnetic Field	30Hz~50kHz
RE02	(放射雑音)	Electric Field	14kHz~10GHz
RE03	"	Spurious and Harmonics, Radiated Technique	(Spurious)
(RS01)	Radiated Susceptibility	Magnetic Field	30Hz~50kHz
RS02	(放射感受性)	Magnetic and Electric Field, Spikes and Power Frequencies	
RS03	"	Electric Field	14kHz~400GHz

括弧の仕様は、C版としては、衛星に適用していないが、E版で衛星に適用されているため記載した。

図3に示すように、EMC仕様は、ノイズを出すことに對する規制(Emission)と、ノイズに対する耐性の要求(Susceptibility)、及び、伝導(Conducted)と、放射(Radiated)とに区分される。各区分毎に電源ライン・信号ライン・送信機・受信機等により個々に規定をしている。

表2に示すのは、C版における区分である。A版とは周波数範囲等の若干の見直しのみであるが、現時点での実質的業界標準であるため掲載した。

表3には、最新版であるE版における区分を示す。表3に示す通り、C版とは大幅に異なる区分である。

MIL-STD-461は、宇宙飛行体の搭載機器またはサブシステムに対するEMC要求である。米国軍およびNASAには、

表5 ESD(帯電放電)関連の米国軍/NASA規格・ハンドブック

規格	発行日	タイトル
NASA Technical Paper 2361	1984	Design Guidelines for Assessing and Controlling Spacecraft Charging Effects
MIL-STD-1686C	1992.12.31	Electrostatic Discharge Control Program for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)
NASA-HDBK-4002	1998.02.17	Avoiding Problems Caused by Spacecraft On-orbit Internal Charging Effects

この他に多数のEMC関連の規格・ハンドブックが存在する。表4にその一例を示す。

EMCとは直接関係しないが、関連するものとして宇宙プラズマ環境に対して宇宙飛行体が被るであろうESD(帯電放電)に関する適合性を検証する規格・ハンドブック類について表5に示す。

4. 日本国内の対応

1969年10月に宇宙開発事業団(NASDA)が発足し、その翌年の1970年2月11日に我が国初の人工衛星「おおすみ」の打ち上げに成功した。当時、人工衛星のEMC規格として、日本で手に入る唯一の規格は、MIL-STD-461Aであった。後に、気象衛星「ひまわり」等の開発に際しては、米国衛星メーカーとの仕様調整において、MIL-STD-461A Notice3が適用された。1980年代後半になると、日本の宇宙開発の国産化の流れにあわせて、日本独自の設計基準の制定のための準備が始まった。こうして制定されたNASDA-EMC設計基準(NASDA-NDC-2-4-1)(1990.3)は、直近に制定

表 8 ISO14302 適用マトリクス(Immunity)

Table 2 - Equipment-level test applicability matrix (immunity)

Test type	Requirement/ Verification clause	Applicability	Test method reference	Mil-Std-461 Alternate method
Immunity to audio frequency power-line ripple	4.3.10/5.3.10	Required	ISO 7137, 18/ Guidelines in Annex A	CS101
Immunity to power-line switching transients	4.3.11/5.3.11	Required	ISO 7137, 17	
Immunity to the conducted effects of radiated electromagnetic fields	4.3.12/5.3.12	Case-by-case	ISO 7137, 20.4	CS114
Immunity to audio frequency radiated magnetic fields	4.3.13/5.3.13	Case-by-case	Guidelines in Annex A/ ISO 7137, 19.3.1	RS101
Immunity to radiated electromagnetic fields	4.3.14/5.3.14	Required	ISO 7137, 20.5	RS103
Immunity to magnetic fields induced signals to cabling	4.3.15/5.3.15	Case-by-case	ISO 7137, 19.3.2 and 19.3.4	
Control of antenna port immunity to out-of-band interference	4.3.16/5.3.16	Receivers	Depends on receiver type	
Immunity to electrostatic discharge	4.3.17/5.3.17	Required or handling procedure	IEC-61000-4-2	

NOTE: Case-by-case means the procuring activity or EMCAB shall specify the applicability.

表 7, 表 8 は, ISO14302 において, 仕様区分毎に適用の可否を推奨したものであり, 尚かつ, MIL-STD-461E との対比が併記された。ISO7137 は, 欧州が推奨した RTCA/D0-160D という航空機に対する EMC 試験基準をそのまま引用したものである。米国と欧州の調整の結果, 両論併記とされた結果である。

6. 今後の課題

宇宙飛行体システムに対する EMC 仕様は, 以上のような経緯を経て, 漸く, ISO14302 として国際標準が完成した。前述したように, 我が国においては, MIL-STD-461C を永らく引用してきたため, ISO14302 が引用する 461E とは容易に比較対照することができない状態にある。

このことによる弊害の一例を示す。宇宙搭載機器は, 仕様調整において, 要求仕様を検証する方法として, 既開発機器については, 軌道上実績による類似性で保証することができるようになっているが, 461C 版をベースに開発した機器は, 461E 版と容易に比較対照することができなければ, 新たに検証するための試験もしくは解析を追加実施しなければならない。調達側/供給側どちらの立場になっても費用・労力の追加が発生する。

WTO/TBT 協定は, まさに上述のような貿易の技術的障害に関する協定であり, WTO に加盟している日本としては, 早急に対応策を検討しなければならない。

今後の課題は, ISO14302 と整合性のある国内規格を整備し, なおかつ, MIL-STD-461C との比較対照表もしくは換算表を添付することである。

更に, ISO14302 に対応した, EMC 試験結果を書き込むデータシートを国際標準とすることである。これについては, ISO/TC20/SC14/WG1 において, EMC 試験法 (ISO/WD23037)として審議中である。

(平成 15 年 2 月 28 日受付)

文 献

- (1) ECSS-E-10A 1996.4.19: Space Engineering (System Engineering)
- (2) MIL-STD-461E 1999.8.20: Requirements for The Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment
- (3) MIL-STD-463A 1995.2.27: Definitions and System of Units, Electromagnetic Inteferece and Electromagnetic Compatibility Technology
- (4) MIL-STD-464 1997.3.18: Electromagnetic Environmental Effects Requirements for Systems
- (5) MIL-STD-1541A 1987.12.30: Electromagnetic Compatibility Requirements for Space Systems
- (6) MIL-STD-1686C 1992.12.31: Electrostatic Discharge Control Program for Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)
- (7) MIL-HDBK-235-1B 1993.5.1: Electromagnetic (Radiated) Environment Considerations for Design and Procurement of Electrical and Electronic Equipment, Subsystems and Systems
- (8) MIL-HDBK-1857 1998.3.27: Grounding, Bonding and Shielding Design Practices
- (9) NASA-HDBK-4001 1998.2.17: Electrical Grounding Architecture for Unmanned Spacecraft
- (10) NASA-HDBK-4002 1999.2.17: Avoiding Problems Caused by Spacecraft On-orbit Internal Charging Effects
- (11) NASA-Technical-Paper 2361 1984: Design Guidelines for Assessing and Controlling Spacecraft Charging Effects
- (12) ISO7137 1995: Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment
- (13) ISO14302 2002.11.12: Space Systems Electromagnetic Compatibility Requirements
- (14) RTCA/D0-160D 1997.3.4: Environments Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment

宮 島 大 亮

(非会員) 1958 年 11 月 24 日生。1981 年 3 月武蔵工業大学卒業。同年日本電気(株)入社。2001 年 10 月 NEC 東芝スペースシステム(株) 出向。現在, 宇宙飛行体システムのシステム設計に従事。