

6.8. 国内外の試験技術動向及び JAXA 試験標準 改定への挑戦

宇宙航空研究開発機構

環境試験技術センター

施 勤忠 氏



Test Effectiveness~challenge to the next generation

国内外の試験技術動向及びJAXA試験標準改定への挑戦

JAXA 環境試験技術センター 施 勤忠 & New Generation

概要：宇宙開発は従来の国家プロジェクトの位置付けから商用や中小企業及び大学衛星など様々な宇宙への活動が活発されている。その中、開発コストと信頼性との両立性が重要な課題となっており、本発表では宇宙機開発のコスト削減に寄与する解析技術や宇宙機試験要求の見直しに関するJAXAや海外の最新技術動向を紹介する。また、JAXA将来的効果的な試験標準の更なる改善に向けた挑戦する研究活動及び課題について報告する。

- 世界宇宙機試験技術の動向
- 宇宙機試験標準改定最新動向
 - ◆ MIL-STD1540-Rev B
 - ◆ JAXA試験標準改定の活動
- JAXA試験技術の次世代へのChallenge：Test Effectivenessへの期待

第12回 試験技術ワークショップ H26年12月11日(木)



1. 世界宇宙機試験技術の動向

1.1 DFAT（直接音場音響試験法）(2013年の発表更新)

DFAT:Direct Field Acoustic Testing

- スピーカーを音源とし、供試体を直接加音する試験方法
- 米国で研究、実用化され、MSI (Maryland Sound Inc.)社が開発・試験サービスを開始

メリット

- 試験サービス (3名、1週間程) による **設備投資、保守、技能者保有するコスト不要**、開発現場で対応でき供試体の輸送不要。
- ナローバンド/Octバンドで制御が可能、特に高周波の制御性が優れている。

デメリット

- 拡散音場ではないため、実環境と振動応答が異なる可能性がある。
- セットアップは供試体によって異なるため、事前確認や熟練者の対応が必要。

システム諸元：OASPL=147dB(25Hz-10kHz)
消費電力=Speaker: 5KW (300台～) =1.5MW～

反響室型 (JAXA)



DFAT



Ref: Paul Larkin, Direct Field Acoustic Test (DFAT®)
Update - 2014, 28th ATS, March 25-27, L.A. USA.



1.2 Thales Alenia Space Italia (TAS-I) の3軸同時加振設備

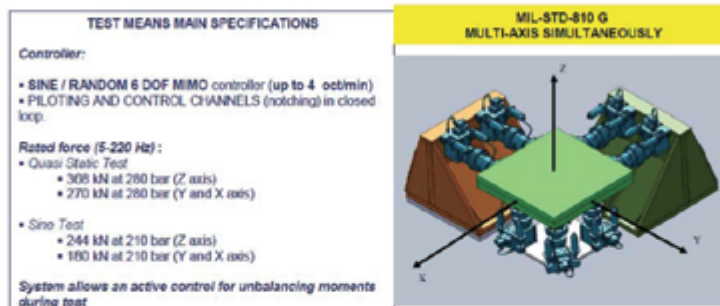
TAS-I社は自社が開発する宇宙機システム認定試験のために、3軸同時加振設備の開発に2010年末より取り組んでいる。

3軸同時加振設備は、単軸の動電型加振機に比べて

- ◆ **補償の必要がない**ため、効率的に試験を実施することができる。
- ◆ 3軸同時制御を行うことで、**クロストーク成分を低減**することができる。
- ◆ 油圧制御であるため、**加振力が高い**。

Quasi Static: 366kN(vertical)/270kN(horizontal), Sine: 244kN/180kN

- ◆ 6DOF、MIMO Hydraulic Multi-Shaker System: 8 actuators(Dynamic:26,400lb/actuator, static) 200kN/actuator.



Ref:V. Di Pietro, et., Multishaker Seismic Base Installation and Validation Process, 27th ATS, Oct. 16-18, 2012, L.A. USA



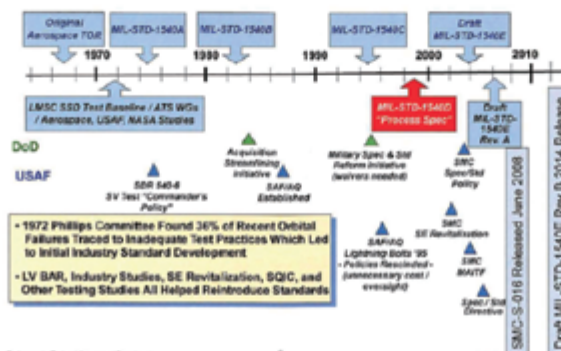
2 宇宙機試験標準改定最新動向

> the next generation

➢ 2.1 MIL-STD1540E-Rev B(2014年リリース予定)

MIL-STD-1540Eとは

- 米軍 (U.S.Airforce and Missile Center)の宇宙機に対する試験要求のベースライン。
- ミッションの特性により、テーラリングされる。
- Rev.Bはテーラリングをサポートするオプションが追加されている。
- 改定の最新のデータ及び実績を基づく：メーカーより881の指摘を審査し、Rev.Bへ反映やRev.Cへの課題を選別



Ref:Jim Snyder & Al Peterson, Introduction to MIL-STD1540E(SMC-S-016) Test Requirements, 28thATS Tutorials



Test Effectiveness-challenge to the next generation

➤ MIL-STD-1540E Rev.A/Rev.Bの主な変更点

- Protoqualification strategy formalized and strengthened - Rev A
- Technical depth of MIL-STD-1540C - Rev A
- Prescriptive format of MIL-STD-1540B - Rev A
- Segregated requirements for units, subsystems and systems - Rev A
- Replaced "Optional" with "Evaluation Required" for improved visibility - Rev A
- Clarified EMC acceptance test requirements - Rev A
- Improved definition of specification performance and functional testing - Rev A
- Introduced requirements for software testing - Rev A
- Simplified selection of random vibration and thermal test requirements - Rev A
- New and updated list of reference standards and practices - Rev A / B
- **Less stringent thermal test requirements at all levels (熱試験の緩和) - Rev A / Rev B**
- **Modified minimum random vibration requirement for units (MSL見直し) - Rev A / Rev B**
- **Added 9 optional test strategies - Rev B**
- **Revised thermal test requirements - Rev B**
- Replaced Section 10 with appendices A and B - Rev B

第12回 試験技術ワークショップ 2014年11月11日(木)



Test Effectiveness-challenge to the next generation

➤ 認定試験モデルのオプション(Qualification using Engineering Qualification Models (EQM))

Rev Bに追加

- Opt1: Allows environmental test qualification credit using EQMs: 最低限の7条件を規定
- Opt2: Qualification/Protoqualification by similarity : Heritageをベースとする9ケースを規定

➤ 環境試験に関するオプション :

Opt. 4: Modification of unit random vibration protoqualification margins and durations

Opt. 5: Vehicle level flightproof acoustic tests

Opt. 6: Deletion of vehicle level acoustic test: AT試験省略する場合のリスク低減条件 (5機以上製造され、音響試験による不具合なしは4機の場合はリスク中低、5機の場合は低)

Opt. 8: Two phase acoustic/vibration qualification/protoqualification

Opt. 7: Unit thermal acceptance credit at board/slice level: 基板/ボードの熱サイクル試験をコンポの熱サイクル試験として計上する6つの条件を規定

Opt. 9: Two tier unit thermal testing



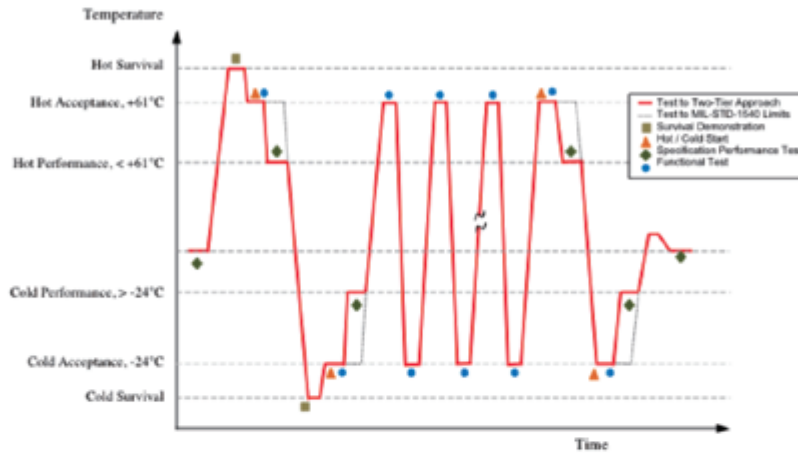
Test Effectiveness-challenge to the next generation

Opt. 9: Two tier unit thermal testing

Two Tier熱サイクル試験適用対象：非動作時温度は試験要求温度範囲に適合、動作時温度は不適合の場合は、図のような緩和するプロファイルにて試験実施。

例えばAT試験の場合

機能性能試験：最初と最後のサイクルにて、試験要求温度より緩和された動作時温度で実施。
 高温・低温さらし：動作時温度より厳しい試験要求温度で実施。



コンポの試験要求項目 (Verification Matrix)の緩和・強化

e next generation

◆ QT/PFT緩和、ATは強化・緩和がある

Unit QT/PFTの試験項目を要求緩和

Table 6.3.1

緑の試験項目はRev.Aより緩和 (Rev.B)

Test	Reference Paragraph	Approved Discrepancy	Functional Test	Acceptance	MIL-STD-1540	Survival	Power	Temperature	Pressure	Vibration	Thermal	Thermal Shock	Optical	Electromagnetic Compatibility
Acceptance	4.9	1, 10	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Acceptance Performance	4.9.2	3, 47	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Leakage	4.9.3	3, 4, 12	ER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Shock	4.9.4	5	R	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Vibration or Acceleration	4.9.5	6	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
Acceptance Test	4.9.7	7	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Thermal Cycle	4.9.8	8	R	ER	ER	ER	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Thermal Shock	4.9.9	9	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Climate	4.9.10	10	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Pressure	4.9.12	11	ER	-	-	-	ER	-	-	-	-	-	-	-
EMC	4.9.13	13	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
RF	4.9.14	14	ER	-	-	-	ER	-	-	-	-	-	-	-
Power Protection	4.9.15	15	-	-	-	-	ER	-	-	-	-	-	-	-
Static Load	4.9.17	16	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER

Ref: Jim Snyder & Al Peterson, Introduction to MIL-STD-1540E(SMC-S-01)

Unit ATの試験項目を要求緩和・強化


Table 6.3.2

赤の試験項目はRev.Aより強化 (Rev.B)

Test	Reference Paragraph	Approved Discrepancy	Functional Test	Acceptance	Start	Survival	Power	Temperature	Pressure	Thermal	Thermal Shock	Optical	Electromagnetic Compatibility
Acceptance	4.9	1, 10	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Acceptance Performance	4.9.2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leakage	4.9.3	3, 4, 12	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Shock	4.9.4	5	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Vibration or Acceleration	4.9.5	6	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	ER
Thermal Cycle	4.9.8	8	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Thermal Shock	4.9.9	9	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Climate	4.9.10	10	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
Pressure	4.9.12	11	ER	-	-	-	ER	-	-	-	-	-	-
EMC	4.9.13	13	R	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER
RF	4.9.14	14	ER	-	-	-	ER	-	-	-	-	-	-
Power Protection	4.9.15	15	-	-	-	-	ER	-	-	-	-	-	-
Static Load	4.9.17	16	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER	ER

ER: Evaluation Required - Documentation of justification for or for not performing to the requirement (144 in Rev A to the 17C: 188 in Rev B)

Ref: Jim Snyder & Al Peterson, Introduction to MIL-STD-1540E(SMC-S-01); Test Requirements, 289ATS Tutorial



Test Effectiveness—challenge to the next generation

2.2 JAXA宇宙機試験標準 (JERG-2-130)の活動


- > 宇宙機一般試験標準：JAXA調達する人工衛星及び探査機の共通的な試験要求（環境試験、機能性能試験、測定）を規定する
- > JAXA宇宙機一般試験標準の歴史
 - 最初の試験標準は米国の試験標準GETS,GEVSを基に制定、その後5年程度置き改定
 - > 1998年のSTD15Aから、実質的改訂がされず
 - > 2012年に13年ぶりにメジャーアップデート
 - ◆ 要求の簡潔化のため：旧試験標準の記述から、「要求」「テーラリングガイド」「解説」の識別・審議
 - > FY24&FY25：審議完了事項をタイムリーに反映 (Notice-1、Notice2)
 - > FY26年度：要求事項の簡潔化（JAXA調達品の共通的な試験要求を規定）
 - > FY27年度：A改定（目標）

宇宙機一般試験標準

- << 2016.3 JERG-2-130 A
- << 2014.3 JERG-2-130 Notice-2
- << 2013.5 JERG-2-130 Notice-1
- << 2012.5 JERG-2-130
- << 2005~2010 試験ハンドブックの活動
- (<< 2004.8 JERG-2-019 科学衛星耐環境設計基準)
- << 2004.4 JERG-2-002
- << 1998.3 NASDA-STD-15A
- << 1994.3 NASDA-STD-15
- << 1989.12 NASDA-ESPEC-7B
- << 1983.1 NASDA-ESPEC-7A
- << 1979.3 NASDA-ESPEC-7

JERG-2-130の歴史と予定

JERG-2-130 2012.5	ML-STD-1540C (DRAFT) 2006.9	GSFC-STD-7050 2005.4	ECSS-E-ST-19-03C 2012.6	ISO15064 2004.8
日本	米国MIL	米国NASA(GEVS)	欧州ESA	ISO



Test Effectiveness—challenge to the next generation

JERG-2-130の主な変更点及び技術改善

- ◆ 試験要求を明確化と共に、「TL」及び「解説」を充実、環境試験HDBKを参照
- ◆ JAXA設計標準、HDBKとの整合性を図った（構造設計標準、EMC設計標準、熱制御系設計標準、姿勢制御系設計標準等）。
- ◆ 試験条件の一般化（ロケットによらないスペックの値を使用）、海外のロケット等の使用
- ◆ 機械環境試験においてフライト宇宙機の推進薬非充填のTL条件を明確化（実績を反映）
- ◆ 静荷重試験方法の充実（アクチュエーター、正弦波&サインバースト）
- ◆ ランダム試験条件より衝撃試験省略の評価方法を追記
- ◆ 音響試験の低・高周波数（31Hz、4000Hz以上）の公差要求を緩和(+3dB/-1dB-> +/-5dB)
- ◆ 音響・ランダムQT試験条件の明確化（最大予測+3dB）
- ◆ 正弦波掃引方向(up-down)の明確化、片方の場合TLの指針を追記
- ◆ 射場における確認試験の試験標準範囲を明確化
- ◆
- ◆



Test Effectiveness-challenge to the next generation

➤ A改定の主な課題（一例）：試験項目遷移の調査検討

「R」としてランダムと選択としてよいと考えられるが、ここでは「O」となった。

スラスタを除く推進系関連の分類について「O」へ緩和された。

凡例

R → O	青
O → R	赤
O → O	黄
R → R	緑
O → R	紫
R → O	黒

FM	試験項目	電気-電子機器	アンテナ	可動機構	太陽電池パドル	バッテリー	バルブ	推進装置	圧力容器	スラスタ	熱制御装置	光学装置
	機能-性能	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	熱平衡	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	熱真空	R	R	R	R	R	O	O	O	R	R	R
	熱サイクル	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	モードループバイ	O	R	O	R	O	O	O	O	O	O	O
	五軸非運動	O	O	R	O	R	O	O	R	R	O	O
	ランダム振動	O	R(O)	R	R(O)	R	R	R	R	R	R(O)	R(O)
	音響	O	R(O)	O	R(O)	O	O	O	O	O	R(O)	R(O)
	衝撃	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	加振	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	腐食	O	O	O	O	R	O	O	O	O	O	O
	塵埃	O	O	O	O	R	R	R	R	R	R	O
	リーク	R(O)	O	O	O	R(O)	R	R	R	O	R(O)	O
	EMC	R	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

このころ参考している海外標準 (GEVSやMIL-STD-1540C) は「R」のままであるが「O」に緩和された。

ランダムと音響の選択指針は以前の7Bから記述があるが、太陽電池パドルと熱制御装置がこれを選択できるようになった。



2.3 宇宙機国際試験標準ISO化の動向

Test Effectiveness-challenge to the next generation

- ISO15864: Space systems – General test standard for spacecraft, subsystems, and units (Japan based on JAXA JERG-2-130)は最新化審査終了 (2013年10月)
- Force Limited Vibration Test (FLVT)技術の国際標準化 (更新)
2011年5月、DLRより宇宙機国際標準ISOに提案されたが、エキスパートが退職され引き継ぐ専門家がいないと一度取り下げた。来年スケジュール再設定する。
- Pre-NWIP(2012) : Space systems - Acoustic testing (China) : 宇宙機システム・サブシステム・コンポーネントの反響室での音響試験に関して試験設備、装置、供試体の設置、音圧制御及び試験手順等を規定する。日本からすべての修正要求を反映した。
- Pre-NWIP(2012) : Space systems-Magnetic testing (Cina) : 宇宙機及び構成品の磁気試験に関する磁気フィルド測定、磁気モーメント測定、ゼロ磁場調整、磁気消去等に関する方法、手順について規定する。日本からの修正要求をすべて受け入れ、反映する。
- Space systems-Design Qualification and Acceptance Tests of Small-scale Satellites and Unit Seeking Low-cost and Fast-Delivery (Japan): COTS品を利用する小型衛星 (50kg以下、50cm以内) を対象とする試験標準NWIPは通過し、2014/5/30 Committee Draft提出、2014/10/12 Comment締め切り。
◆UKから厳しい指摘：標準としては細かく規定し過ぎ、標準でなく Guideline にすべき等。



Test Effectiveness-challenge to the next generation

➤ JAXA試験技術の次世代へのChallenge：Test Effectivenessへの期待

Test Effectivenessとは、地上試験によって洗い出された潜在的な不具合率(%)

- ◆ 地上試験コストの削減・有効な環境試験項目と試験条件の設定のための検討・研究活動をTest Effectivenessと呼ぶ。
- ◆ 米国については古くは70年代より、欧州宇宙機関は90年代頃から試験有効性について盛んに議論されており、試験標準の改訂にそれらが反映されている。
- ◆ 地上試験 や軌道上で発生した不具合のデータベースから、地上試験の改善や試験標準の要求事項等への反映をしていく活動のこと。

米国の活動と成果

地上試験時や軌道上の不具合の統計分析により、地上試験の見直しを実施中。これまでの主な成果は、

- ・システム音響受入試験の省略指針の制定
- ・コンポーネントPFT熱真空/熱サイクル試験のサイクル数の削減
- ・システム音響試験と熱真空試験の試験順序入れ替えに関するテラリング
- ・要求試験項目表（ペリフィケーションマトリクス）の見直し

欧州の活動と成果

統計的アプローチにより地上試験の有効性のレビューを行い、コスト・開発スケジュールに対してより効率的な試験要求項目を定量的に評価するためのデータベース（MATED）を構築。

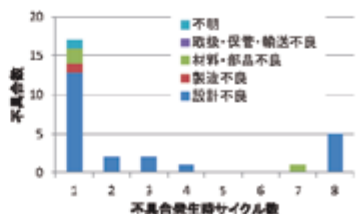
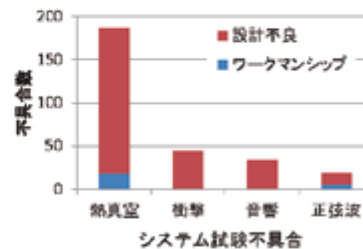


Test Effectiveness-challenge to the next generation

➤ JAXAでの取り組み中の活動（JAXA Best Practiceの標準へ）

JAXA地上試験&軌道上の不具合データベースを利用して効果的な試験標準への挑戦

- ◆ 従来・現行の試験標準はコスト効果が高いか？
 - Q1 高価な試験費用に対して価値の評価できるか
 - Q1 設計・製造技術の進歩に応じる試験要求の見直し必要か
 - Q1 適切な試験条件（熱サイクル数等）の定量評価ができるか
- ◆ 各試験の目的（設計検証、製造過程の妥当性）及び試験対象を再検討する。
 - Q1：不具合を良く洗い出す環境試験は？
 - A1：熱真空試験・機械環境試験は4試験に差はない。
 - Q2：ランダム振動試験・音響試験でよく洗い出されている不具合は？
 - A2：「設計」に関わるものが多い。ランダム振動では電氣的不具合・外傷・損傷が多い。音響試験ではワークマンシップエラーはゼロ（従来の概念は時代遅れ？）
- ◆ 製造過程の妥当性（ワークマンシップ）試験条件と検出率の関係を定量的評価できるか。
 - Q1：熱真空試験/熱サイクル試験のサイクル数、さらし時間において潜在的な不具合率VSサイクル条件？
 - Q2：正弦波試験/音響・ランダム試験/衝撃試験のWorkmanship検出率の割合は？
- ◆ 軌道上の不具合と地上試験の相関関係は明確化？
 - Q1：軌道上不具合の撲滅に応じて地上試験の強化すべき項目は明確化？





Test Effectiveness-challenge to the next generation

ご静聴ありがとうございます！

第12回 試験技術ワークショップ 2014年12月11日(木)

質疑応答

質問者① 菱栄テクニカ松田様

ISO のお話の中で、UK から厳しい指摘があったとのことで、JAXA 試験標準は要求ではなくガイドライン文書にあたるかあるが、ヨーロッパとしても UK と同じ意見なのか。

発表者

日本が提案した小型衛星の試験標準について COTS 品を使うということを提案したが、UK から設計標準の中で細かい数字まで要求しているが、それについてはガイドラインにすべきという指摘があった。この指摘はヨーロッパとしてではなく UK からのものである。

質問者

ISO の中でガイドラインという文書の決め方はあるか。

発表者

テクニカルレポートはあるがガイドラインはない。

質問者② JAXA 環境試験技術センター 福添様

試験センターとして今取り組んでいる A 改訂、そしてさらに今後もメジャーアップデートを継続的に対応していくことになるが、周辺状況の変化がどのようにこれらの検討に関係してくるかという観点で、まずは試験センターとして現在 A 改訂に向けて取り組んでいくポイントは何か。また、その後の状況の変化としてどのようなことが想定されるか。

発表者

今まで細かい試験のやり方などの、いわゆる標準をサポートするハンドブックについて、標準へ取り入れていく方針であった。これから積極的に取り入れなければいけないのは、1つは試験項目表（ベリマト）の整理として要求する試験項目はどれかという観点での議論、2つ目はコストの観点で最近よく取り入れられる EFM に関する記載がまだ入っていないためこれを議論していかなければいけないと考えている。周辺の状況としてはそういった観点で活発な議論が始まっているという状況である。

質問者

宇宙利用の拡大についてきめ細かく対応していくことが重要であると考えている。皆さんの協力を得ながら頑張っていきたい。

質問者③ JAXA セキュリティ情報化推進部 島津様

システムエンジニアリングの世界標準という欧米がリーディングしているように思っていたが、日本と中国という名前が目につくが、試験の標準化については日本や中国が引っ張っているということか。

発表者

ISOは貿易関係ビジネスの観点で取り組んでいる国際標準である。アメリカが引っ張っていたが、最近では彼らは手を引いている状況。一方、中国はISOのような国際的な標準化の活動が活発になってきている。ただし、試験全体に対する提案というわけではなく音響試験や磁気試験というある一部の試験についての提案である。