

鉄道用電力貯蔵システムに関する国際規格の審議状況

赤木 雅陽*

Recent Trend of International Standardization of Energy Storage System for Railway

Masataka AKAGI

The energy storage systems (ESSs) for the railway system have been important technologies to stabilize the power supply or to reduce the energy consumption. In recent years, the energy storage media have developed remarkably. Therefore, the railway operators and the manufacturers need to standardize the methods to design the specific requirements of the characteristics and tests for the ESSs. It is also important to contribute to the development of the international standards by using the Japanese experiences of the ESSs. In this paper, the author summarizes the recent activities of standardization in the field of the railway system, and introduces the development of the international standards in relation to the ESSs.

キーワード：電気鉄道，標準化，国際規格，IEC，電力貯蔵システム，補助回路

1. はじめに

鉄道用電力貯蔵システム（ESS）は、電力を安定供給するとともに消費エネルギーをさらに削減するべくここ20年来技術開発と実用化が進められてきたが^{1) 2)}、気候変動に関する枠組み「パリ協定」を始めとした地球温暖化対策として、あるいは大規模停電などの非常時における走行電源として、近年更なる注目を集めている^{2) 3)}。

このような背景の元、ESSに関する基本的なシステム構成やエネルギー効率の評価等を日本主導で標準化することは、システム導入を検討する世界の鉄道事業者にとって有益な指針になるのみならず、導入実績で一日の長がある日本のシステムが国内外の市場において優位性を確保する上でのキーポイントになる。

本稿では、電気鉄道分野における近年の標準化活動の概要を紹介するとともに、鉄道用電力貯蔵システムに関する国際規格の審議状況について解説する。

2. 電気鉄道分野における標準化活動の概況

2.1 IEC/TC9 の活動概要

IEC（国際電気標準会議）は電気・電子技術に関わる国際規格を作成することを目的として1906年に設立された。本部はスイスのジュネーブで、2018年現在では85か国が参加しているほか、延べ104分野のTC（専門委員会）を始めとした種々の組織にて規格審議を行っている。

電気鉄道分野（車両電機，信号，電力など）については、フランスを幹事国，イタリアを議長国としてTC9（鉄道用電気設備とシステム専門委員会）が担当している。TC9には2018年12月の時点で、Pメンバー（積極参加・

* 鉄道国際規格センター

規格案への投票義務有り）が28か国，Oメンバー（オブザーバ参加）が14か国の計42か国が参加しており、18件の規格審議にPメンバー各国からエキスパート（専門家）が参加している⁴⁾。

日本においては経済産業省に設置されている審議会であるJISC（日本工業標準調査会）がIECに加盟しており、JISCの承認の元、鉄道総研がTC9に関する国内審議団体を引き受けている。

2.2 日本国内の電気鉄道分野における標準化とその審議体制

国鉄の初期においては、メーカー育成などの観点から国鉄自らが製品納入の監督指導を行っていた。その後、メーカーの技術力向上，及び品質管理手法の定着等を受けて、1969年よりJRS規格（日本国有鉄道規格）に基づく品質管理・標準化体制に移行した⁵⁾。

1970年代には技術革新やJIS規格（日本工業規格）の改廃動向に合わせ種々のJRS規格の策定と見直しが行われてきたが、国鉄改革に併せてJRS規格は廃止され、鉄道事業者における物品の発注はJIS規格等の基本規格，及び社内規格等に基づく形態に変更された⁶⁾。

一方、1995年のWTO（世界貿易機関）発足とそれに伴うTBT協定（貿易の技術的障害に関する協定）によりJIS規格を国際規格へ整合させる必要性が生じたことから、電気鉄道分野でも国際規格への関心が高まった。そこで国際規格審議体制を強化すべく、国土交通省の指導の元、まず2001年にTC9の国内審議事務局業務を日本鉄道電気技術協会から鉄道総研に移管し、続いてTC9の国内審議団体登録を電気学会から鉄道総研に移管し両者を一本化した^{4) 7)}。さらに、ISO（国際標準化機構）に関わる分野も含め鉄道に関する国際規格の審議

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

に一元的に対応するため、2010年に鉄道総研内に鉄道国際規格センターが設立されることとなった。

現在、当センターではIEC/TC9に加えISO/TC269（鉄道分野）等計6つの国内審議団体における事務局業務を行っている⁴⁾。鉄道事業者や、関連業界団体からのご意見を取りまとめ、NC（国内委員会）に対し規格案への投票内容等を諮問している他、計25名のスタッフが種々の国際規格審議にエキスパートとして参加している。

2.3 通常の鉄道システムと鉄道用電力貯蔵システムの標準化活動の差異

欧州統合の流れを受け、欧州では各国の規格体系の統一を念頭にCENELEC（欧州電気標準化委員会）などの組織が設立され、EN規格（欧州規格）が策定されていった。また、1996年にIECとCENELECとの間で締結されたドレスデン協定（2016年にフランクフルト協定に改訂）によりEN規格をIECのCDV（国際規格投票原案）として提案できるようになったため、欧州に有利な条件で種々のIEC規格が策定された⁷⁾。

鉄道システムにおいても欧州各国のインターオペラビリティ（相互運用性）を向上するべくTSI（鉄道の相互運用に関する技術仕様）が2000年代初頭より順次策定され、それに基づくEN規格の制定とIECへの提案がなされていった。主要な鉄道事業者、メーカーのいずれも投票国数の多い欧州圏のPメンバー国に属しているため、日本を始めとした欧州域外国は、EN規格由来の内容に対する修正提案に留まっていたのが当時の実情であった^{7) 8)}。

一方ESSは、電力貯蔵媒体の進化を踏まえ2000年代より国内外で急速な技術開発と実用化が進められていった^{1) 2) 9) 10)}。詳細は後述するが、新しいESSについては日本が技術開発を主導したこと、以前から存在する貯蔵媒体については世界各国にメーカー・ユーザーが存在していることなどの事情もあり、関係する全9規格すべてで欧州域外国の国際主査が審議を主導している。また、IEC 62973-1を除くと参照すべきEN規格が存在しないことから、鉄道以外のTCで開発された関連規格での審議内容等も踏まえつつ、草稿から規格開発を進めている。

本特集で取り上げる9規格の内容、審議状況、国際主査の担当国等、及び個別規格については当該貯蔵媒体同士の特徴と優劣について比較した結果を併せて表1に示す^{1) 2) 3) 9) 10) 11) 12)}。

3. 鉄道用電力貯蔵システムに関する国際規格の審議状況

3.1 車上駆動用

以下に示す3規格は、回生電力の吸収や非電化区間走行時のアシスト等を目的に車両に貯蔵媒体を搭載する際

の、基本的なシステム構成例、システム及び個別機器の性能要求事項、効率の定義、性能試験の分類や試験方法などについて取り扱っている。

3.1.1 パワーエレクトロニクス用コンデンサー第3部：電気二重層キャパシタ（IEC 61881-3）

既存のコンデンサ規格IEC 61881の改訂に際し、ESSへの適用に向けた技術開発が進捗していたEDLC（電気二重層キャパシタ）を内容に盛り込むよう日本から提案活動を行った。2008年の年次総会でのプレゼンなどを経てIEC 61881の第3部としてNP（新業務項目提案）が認められ、審議がスタートした。EDLCにおける内部抵抗の測定方法として自動車応用を想定したIEC 62576の規定を採用すること等を日本から提案するなど審議を進めた結果、2012年8月にIS（国際規格）として発行された。

3.1.2 車上電力貯蔵システム—第1部：シリーズハイブリッドシステム（IEC 62864-1）

ハイブリッドシステムは、主電源（架線・ディーゼルエンジン等）や貯蔵媒体等の複数の動力源を組み合わせることでモーターなどの駆動機器を動作させることを特徴としており¹⁾、2007年にJR東日本・小海線に世界初の営業車両が導入された。

ハイブリッドシステムを構成する個別機器の規格は既に存在していたが、システム全体としての構成や効率、試験方法などの取り扱いについては未整理であったことから^{1) 9) 12)}、2012年よりAHG（アドホックグループ：一時的な国際作業部会）で事前の検討を進め、2013年より審議が開始された。

全体的な規格構成としては、IEC 61377-1（電力変換装置と電動機の組合せ試験）とIEC 61133（鉄道車両の完成試験）を補完しつつ、ハイブリッドシステムとして必要な要求事項、試験方法に関し、エネルギー効率と消費電力測定に重点をおいて規定している^{9) 12)}。一方、ESSの具体的な適用媒体は特定しないこととした他、欧州で実用例の多いESSを単独で用いた架線レス電車を考慮した。また、動力を機械的に融合させるパラレルハイブリッド方式への配慮を踏まえて、パラレルハイブリッド方式を将来のPart2案とすることを整理した上で、2016年8月にISとして発行された。

3.1.3 車上リチウムイオン電池（IEC 62928）

前述のIEC 62864-1の審議過程において、駆動用ESSとしてのリチウムイオン電池の規格作成が必要であることが認識され¹²⁾、仏国からの提案を受けAHGを設置した。その後NP投票に移行することになったが、仏国の国際主査が業務多忙で辞退を申し出たため、産業用リチウムイオン電池一般規格（IEC 62619,62620）の共同国際主査を務めていた日本のエキスパートを後任の主査に提案した。

表1 鉄道用電力貯蔵システムに関する国際規格群^{1) 2) 3) 9) 10) 11) 12)}

規格体系/ 貯蔵媒体	一般規格			個別規格（貯蔵媒体ごとに整理）					
				電気二重層 キャパシタ	ニッケル カドミウム	鉛	ニッケル 水素	リチウムイオン	
規格番号	IEC 62864-1	IEC 62924	IEC 62973-1 (※2)	IEC 61881-3	IEC 62973-2	AHG22	IEC 62973-4	IEC 62928	AHG25
規格の審議 状態	2016年発行	2017年発行	2018年発行	2012年発行	審議中	審議開始 予定	審議中	2017年発行	審議開始 予定
用途	車上ハイブ リッド用	地上 駆動用	車上 補助回路用	車上 駆動用	車上 補助回路用	車上 補助回路用	車上 補助回路用	車上 駆動用	車上 補助回路用
パワー密度	—	—	—	◎	△～○	△	○～◎	○～◎	○
エネルギー 密度	—	—	—	△	△～○	△～○	○	◎	◎
サイクル寿 命	—	—	—	◎	△～○	△～○	△～○	△～○	△～○
価格	—	—	—	—	○	◎	△～○	△	△
運用実績	2007年～	2000年代～ (※1)	長年	2000年代～ (※4)	長年(※5)	長年	2010年代～ (※6)	2000年代～	2010年代～
国際主査の 所属国	日本	日本	カナダ (※3)	日本	カナダ(※3)	中国	日本	日本 (※7)	日本 (※8)
エキスパー トの所属国	JP, CH, CN, DE, ES, FR, GB, IT, US	JP, CN, DE, FR, GB, KR	JP, CN, DE, FR, GB, IT, KR	JP, CH, DE, FR, US	JP, CN, DE, FR, GB, IT, KR, RU	JP, CH, CN, DE, GB, IT	JP, CN, GB, IT, KR, RU	JP, AT, CH, CN, DE, ES, FR, GB, KR, US	—
備考		(※1) 日 本では100 年前に導入 も戦前に一 旦衰退した	※2 EN 50547を参考 にNP提案 ※3 米国NC から移籍	※4 海外で 導入例が多 い。日本で は試験導入 のみ。	※5 海外で は車上駆動用 としても実績		※6 地上電力 貯蔵としては 2010年～	※7 AHGの時 点では仏国の 主査	※8 予定

・エキスパート所属国の凡例：JP：日本, AT：オーストリア, CH：スイス, CN：中国, DE：ドイツ, ES：スペイン, FR：仏国, GB：英国, IT：イタリア, KR：韓国, RU：ロシア, US：米国
 ・貯蔵媒体の特性に関する凡例：◎：優位, ○：やや優位, △：普通

本規格では、電池としての一般要求事項等は IEC 62619, 62620 等の関連規格から引用しつつ、鉄道システムとして必要な要求事項等を重点的に審議した。バッテリーシステムと全体システムの違いに配慮すること、バッテリーシステムと BMS (Battery management system) に関し定義すること、バッテリーの劣化状況や BMS のバランス機能を規定すること、サイクル試験についてエネルギー型と高パワー型の 2 種類を規定することなどが盛り込まれ、2017 年 12 月に IS として発行された。

3.2 直流き電システムに使用する地上電力貯蔵システム (IEC 62924)

本規格は、直流鉄道のき電ネットワークにおいて、回生電力吸収ないし電力補償に関わる一つ以上の目的で導入されるシステムに適応するもので、地上電力設備では初の日本提案規格である¹²⁾。本規格では、電力変換装置なしで電池がき電ネットワークに直結するシステムも取り扱う他、導入効果のシミュレーションによる検証を原則とすることが大きな特徴である。

地上用 ESS は、例えば鉛蓄電池の装置が 100 年前にも信越本線や山手線等で導入されていたが²⁾、近年の貯蔵媒体や制御技術の進展を踏まえて改めて種々の要求事項を規定することとした。負荷サイクルを規定し典型例をサンプルとして提示した他、き電高調波や信号/通信システムに与える影響測定に関わる試験種別等、海外からの意見を取り入れた上で、2017 年 1 月に IS として発行された。一方、回生電力を駅照明などに融通するシステムについては、次回改定時の課題と整理された。

なお、地上用フライホイールも本規格が扱う ESS の典型例であり、詳細は本特集号の別稿も参照されたい。

3.3 鉄道車両補助回路用バッテリー (IEC 62973 シリーズ)

以下に示す 5 規格は、車両に搭載された制御機器や照明装置などに電力を供給する補助回路に適用されるバッテリーを取り扱う規格である。

当初は EN 50547 を元の一つの規格の中で電圧 110V の鉛蓄電池とニッケル・カドミウム (NiCd) 電池の両方を取り扱う予定であったが、それ以外の電圧条件や貯蔵

特集：浮上式鉄道技術と在来方式鉄道への応用

媒体も検討すべきとの意見を踏まえ、EN 50547 を共通部分と個別技術に関する部分とに分割して複数部構成とした上で、更に将来の技術分野を追加できるよう再編した。

3.3.1 第1部：一般要求事項

蓄電池一般についてバッテリーセルやトレイ、ブロックの互換性を確保する他、充放電要件と負荷プロファイル、保護要件を規定することを目的としている。

主に、鉄道車両用としての電池サイズを決定するための負荷計算及び電氣的インターフェースに焦点を当てている。個別の貯蔵媒体における安全要求事項や形式試験等の技術的内容は各部で規定し、電池の一般的特性等は極力一般規格を引用することとした。

本規格は EN 50547 を IEC 化するプロジェクトチーム (PT 62973) で NP 用の文書が作成され審議がスタートした。日本で使用する 100V 等の電圧を取り入れるなどの修正を行い、2018 年 3 月に IS として発行された。

3.3.2 第2部：ニッケル・カドミウム蓄電池

NiCd 電池は以前に比べると需要が減少しつつあるが¹¹⁾、日、仏、中、米などでは車両の補助回路用として今なお主力の電池である。また、日本では事例がないが海外では駆動用 ESS に適用された事例もある。

前述の事情を鑑み、2016 年に PT 62973 にて、EN 50547 の中から NiCd 電池に関わる個別要求事項を抽出した上で NP 用の文書を作成した。欧州と異なり日本では温度補正機能が無い機種も存在することから、記述内容の補正を提案した結果、受け入れられた。現在 CD (委員会原案) 文書へのコメント審議中である。

3.3.3 第3部 (予定)：鉛蓄電池

鉛蓄電池は現在、補助回路用の主力電池である。2017 年の TC9 年次総会において、中国が国際主査を担当するとの提案を受け AHG22 を設置した。EN 50547 の中から鉛蓄電池に関わる内容を抽出した上で審議を進めた結果、文書の原案が固まった。近日中に IEC 62973 の第 3 部として正式に NP 提案が行われる予定である。

3.3.4 第4部：密閉型ニッケル水素二次電池

ニッケル水素二次電池は、他の電池と異なり鉛やカドミウム等の有害な重金属を含まない上、高性能であることから、今後補助回路用電池として普及が見込まれる。

本規格は、SC21A (アルカリ蓄電池及び酸を含まない蓄電池 分科委員会) で審議中の産業用ニッケル水素電池に関する IEC 規格案 (IEC 63115 シリーズ) と密接な関係があることから、当該規格の日本人国際主査が本規格の国際主査も兼任している。2016 年の TC9 年次総会において日本から規格化に向けた提案を行い、AHG16 を設置した。その後 2017 年 12 月に日本から正式に NP 提案を行い、現在 CD 文書へのコメント審議中である。

3.3.5 第5部 (予定)：リチウムイオン二次電池

リチウムイオン二次電池は、パワー密度・エネルギー

密度の両面で秀でていることから、駆動用 ESS と同様に補助回路用電池としても実用化しつつある。2018 年の TC9 年次総会において、ドイツから規格化に向けた提案があり AHG25 を設置した。これまでの規格開発の実績を踏まえ日本から国際主査を提案した他、現在各国からエキスパートを募集している。

4. おわりに

本稿では、鉄道用電力貯蔵システムに関する国際規格の審議状況について解説した。鉄道国際規格センターでは日本で実績のあるシステムが規格文書に反映されるよう尽力していくが、関係各位でもこれまでの成果を国内規格や調達仕様書などにご活用いただけると幸いである。

文 献

- 1) 山本貴光：展望解説 ハイブリッド鉄道車両に関する動向と最近の研究開発，鉄道総研報告，Vol.30, No.4, pp.1-4, 2016
- 2) 小西武史：特集 技術解説 電力貯蔵装置の変遷，鉄道と電気技術，Vol.30, pp.9-15, 2019
- 3) UIC：Technologies and potential developments for energy efficiency and CO₂ reductions in rail systems, UIC report, pp.140-156, 2016.
- 4) 関清隆：鉄道分野における国際規格審議の動向，JREA, Vol.62, No.2, pp.10-13, 2019
- 5) 細淵清：品質管理について，電力と鉄道，Vol.35, No.1, pp.19-23, 1985
- 6) 土屋忠巳：JR 東日本・電気用品の規格・仕様等の在り方，鉄道電気，Vol.40, No.6, pp.37-40, 1987
- 7) 潮崎俊也：技術論説 国際規格の重要性，鉄道と電気技術，Vol.14, No.1, pp.7-10, 2003
- 8) 池田充：解説 近年の集電系関連国際規格の審議状況，鉄道総研報告，Vol.29, No.12, pp.47-52, 2015
- 9) 松村泰幸：鉄道車両関連電力貯蔵システムの標準化，平成 25 年電気学会産業応用部門大会，講演 No. 5-S13-4, 2013
- 10) Meinert, M., Quast, F.：特集 シーメンスモビリティにおける蓄エネルギー装置のアプリケーション，鉄道車両と技術，No.189, pp.11-17, 2012
- 11) Christophe Pillot, "The Rechargeable Battery Market: Value Chain and Main Trends 2017 – 2027," presented at the 34th International Battery Seminar & Exhibit, Fort Lauderdale, FL, America, March 20-23, 2017.
- 12) 高木亮：鉄道向け電力貯蔵システムに関連する国際規格の審議状況，鉄道車両と技術，No.213, pp.11-14, 2014