

# 軌道変位管理方法に関する日本と海外の違い ～走行安全性と乗り心地の確保～



田中 博文  
Hirofumi Tanaka  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
エキスパートマネージャー



坪川 洋友  
Yosuke Tsubokawa  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室長

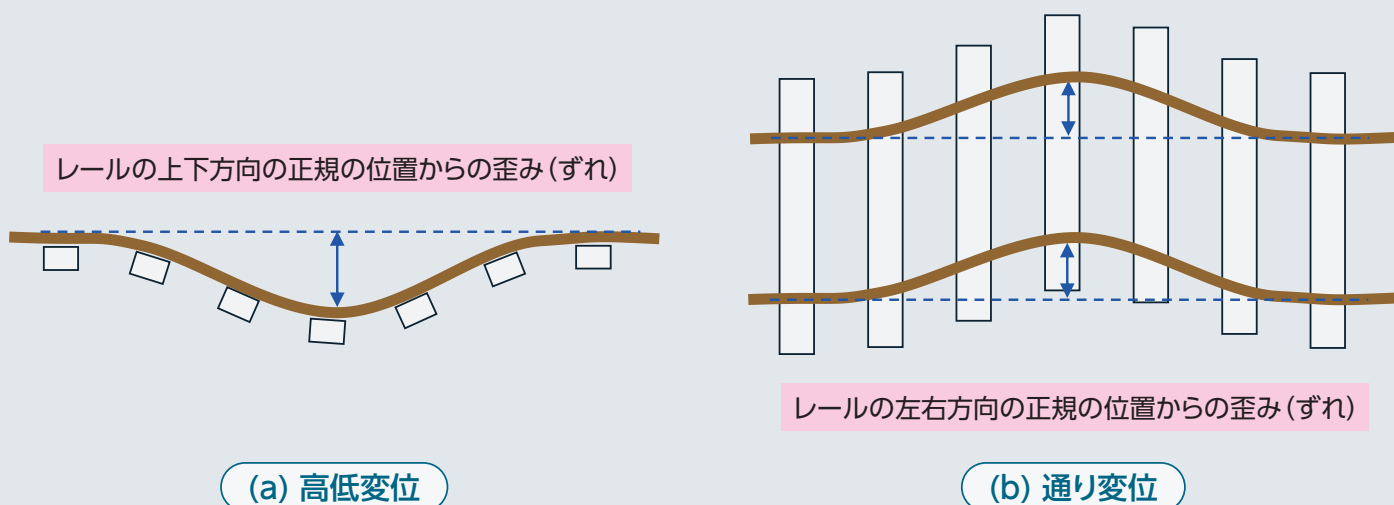
## はじめに

鉄道の線路は、列車の走行にともなってレールが正規の位置から徐々にずれていきます。これを管理するために定期的に「軌道変位」を測定しています。軌道変位にはいくつかの測定項目がありますが、いずれもレールが本来あるべき正規の位置からの歪み(ずれ)を示すものです。この軌道変位が大きくなると、列車の乗り心地が低下したり、列車の脱線の可能性が高まるため、軌道変位を正確に測定し、これを適切

に評価して管理することが、鉄道車両の乗り心地や走行安全性を保つために非常に重要です<sup>1)</sup>。

本稿では、複数項目ある軌道変位のうち、**図1**に示す高低変位と通り変位と呼ばれる線路長手方向のレールの幾何学的形状(以下、この2つを総称して「軌道変位」と言います。)を測定・管理する方法について、日本と海外(主に欧州・中国)との違いに着目し、日本の軌道変位管理技術を国際標準化するための一連の取り組みについて紹介します。

図1 代表的な軌道変位の種類



## 日本と海外の軌道変位の測定方法

線路長手方向に延々とつながっているレールについて、本来あるべき位置からのずれを測定するのは意外と困難です。これを実現するための軌道変位の測定方法には、主に「弦測定法」と「慣性測定法」の2種類があります。

「弦測定法」の基本は、**図2**に示すように、レールの2点間に基準となる一定長さの糸(弦)を張って、その中央の点での弦とレールとの離れを測定します。日本では古くから、10mの弦を用いており、「10m弦正矢法せいやほう」と呼ばれています。この方法は、糸と定規があれば測定できるため簡便な一方で、人力で測定する際には大変な労力がかかります。そこで、線路を走行する列車から軌道変位を測定する手法として、「軌道検測車」が開発されました。軌道検測車ではレールに糸を張る代わりに、**図3**に示すように、車体を基準として軌道変位を測定します。また日本では、営業車両をベースとして軌道変位を測定する「偏心矢法」という方法も開発されました。ドクターイエローという名前を聞いたことがあると思

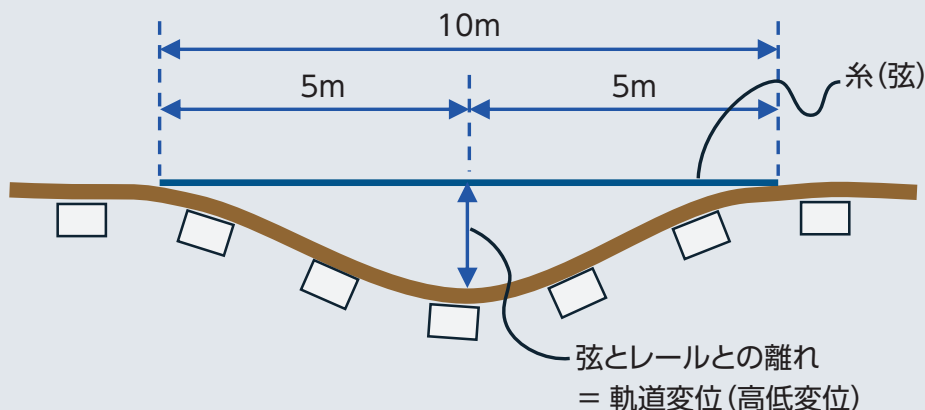
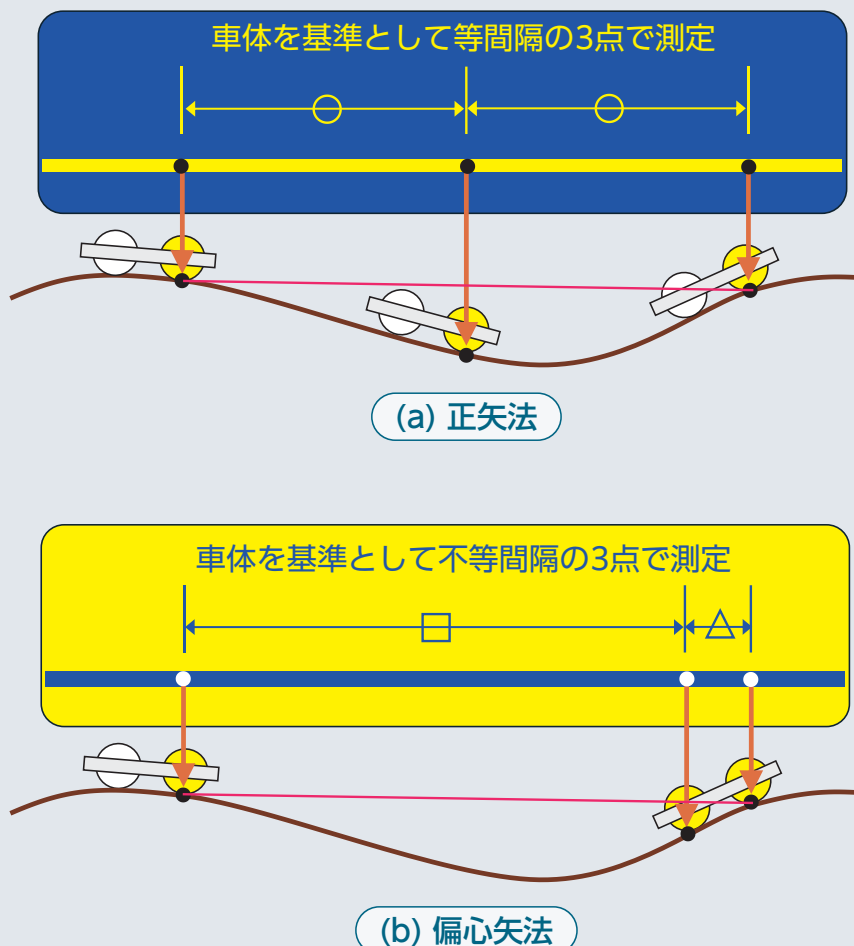


図2 弦測定法の原理(10m正矢法の場合)

図3 弦測定法による軌道検測車の概要



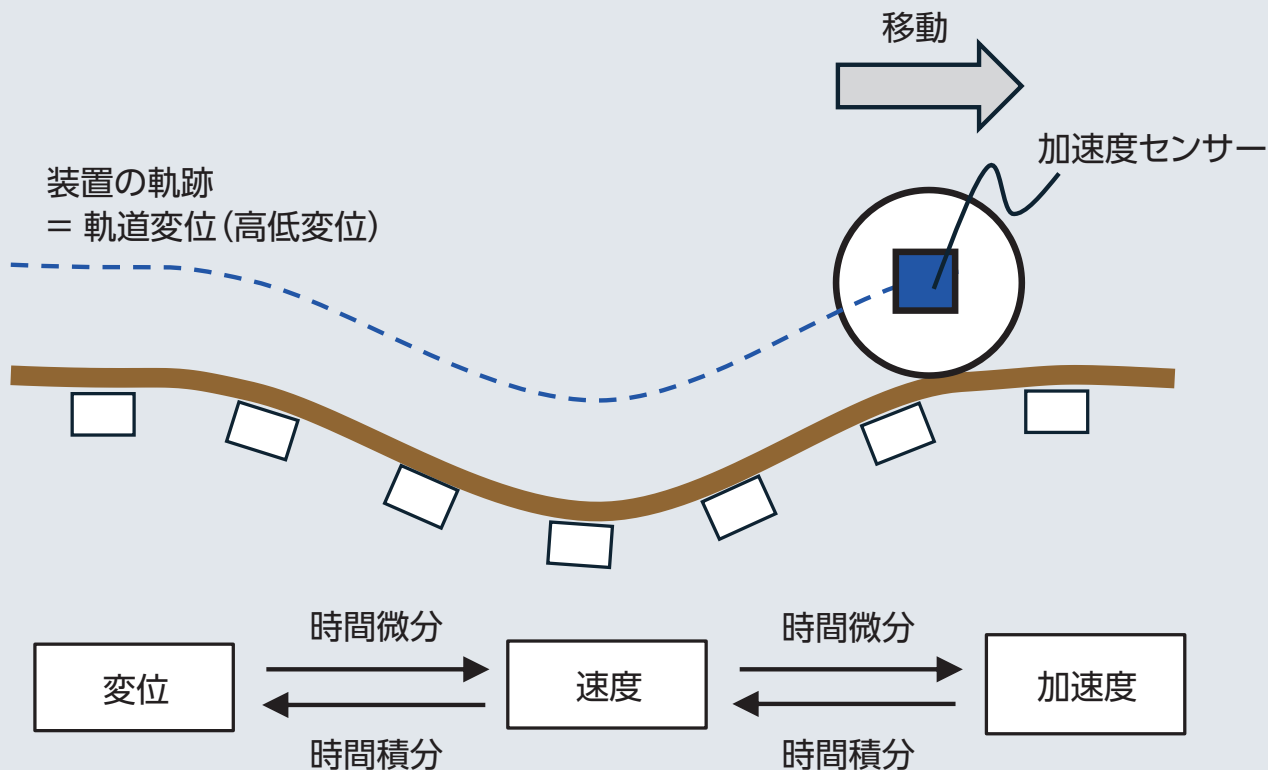


図4 慣性測定法の原理

いますが、これも偏心矢法を採用した軌道検測車です。欧州でも、軌道整備用の保守用車（マルチプルタイタンパー）の軌道変位検測システムなどで、弦測定法が用いられています。

一方、「慣性測定法」は、図4に示すように、「加速度を2回積分すると変位になる」という物理の基本原則を応用しています。実際には、加速度を測定する装置の姿勢を測定するための装置や、装置とレールとの相対距離を測定するための変位センサーなどを含めたものが「慣性測定装置」と呼ばれています。加速度を用いて測定するため、低速では精度が低いという短所がありますが、車体を基準とする弦測定法と異なり測定装置を小さくできる特徴があります。そのため、近年では慣性測定装置を営業車に搭載し、高頻度に軌道変位を測定する営業車モニタリングも普及し始めています<sup>2)</sup>。また、欧州や中国

の軌道検測車も、慣性測定法を採用したものが多くなっています。

### 日本と海外の軌道変位の評価方法

測定された軌道変位を用いてレールを真直ぐに保守するためには、軌道変位を管理する必要があります。これを実現するための軌道変位の評価方法には、「弦管理法」と「波長帯域管理法」の2種類があります。

「弦管理法」は、弦測定法の測定値をそのまま軌道変位の管理値とする評価方法です。現場でもすぐに管理値を確認できることから、世界中で古くから用いられてきました。この方法は、図5に示すように、使用する弦長において感度が2倍になる、という特徴があります。そのため、10m弦正矢法においては、波長10mの軌道変位の成分が2倍に強調されることから在来

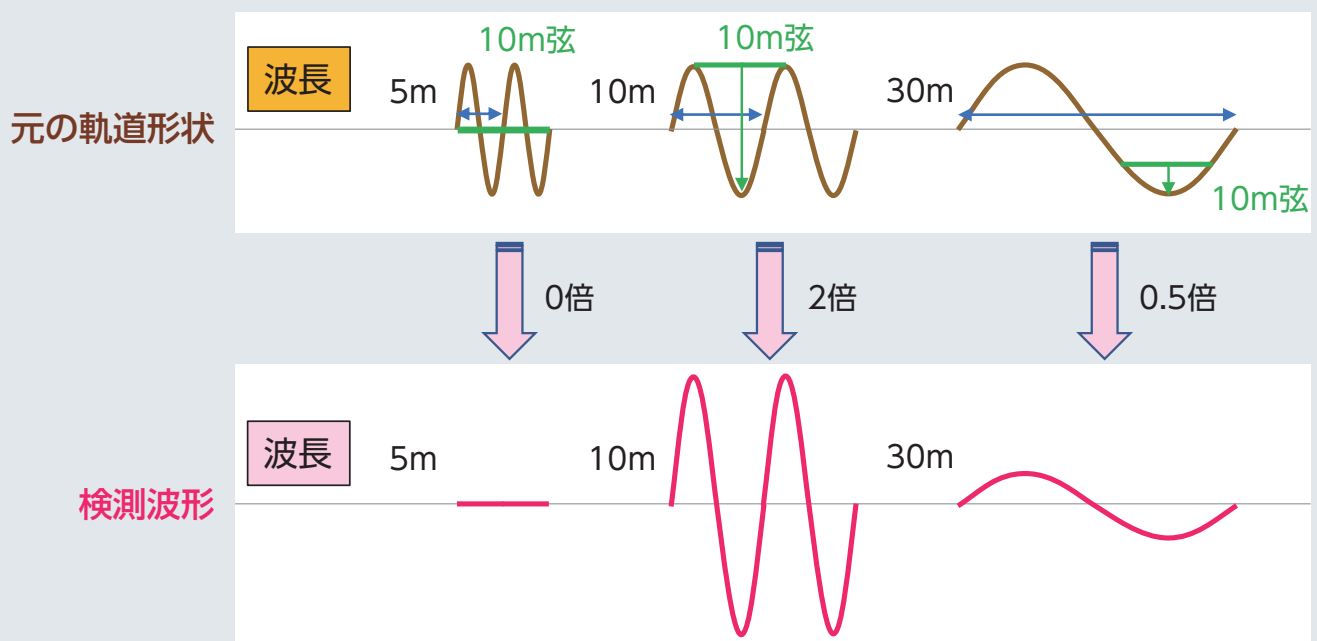
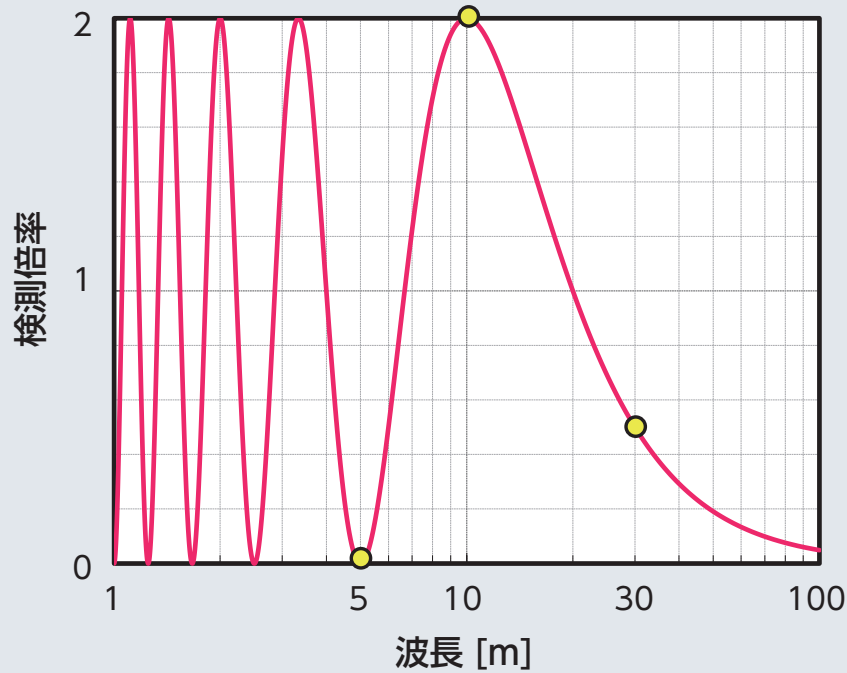


図5 10m弦正矢法の検測特性と検測波形のイメージ

線速度域では、鉄道車両の走行安全性や乗り心地との相関が高いことが知られています。同様に、高速で走行する新幹線ではより弦長の長い40m弦正矢法が、乗り心地の管理に用いられています。一方で、弦管理法の波形は、波長が長くなるにしたがって感度が低下するという

特徴を有していますが、通り変位では曲線の成分を評価可能という長所もあります<sup>1)</sup>。そのため、日本では現在でもこの方法が用いられています。

これに対して、「波長帯域管理法」は、比較的新しい評価方法で、着目した波長帯域内にお

表1 欧州における波長帯域管理法の波長帯域の例

波長帯域管理クラス	波長帯域
D1	3 ~ 25m
D2	25 ~ 70m
D3	70 ~ 150m(高低変位) 70 ~ 200m(通り変位) ※230km/h 以上の線路でのみ考慮

ける感度が平坦な波形を用いて軌道変位を管理する方法です。着目する波長帯域とは、例えば欧州では、表1に示す3種類が定められています。また、中国でも異なる波長帯域に着目した波長帯域管理法が用いられています。軌道を整備する際のレールの移動量がそのまま得られるという長所がありますが、測定値に対して計算が必要となるという短所があります。

### 国際標準化活動の経緯<sup>3)</sup>

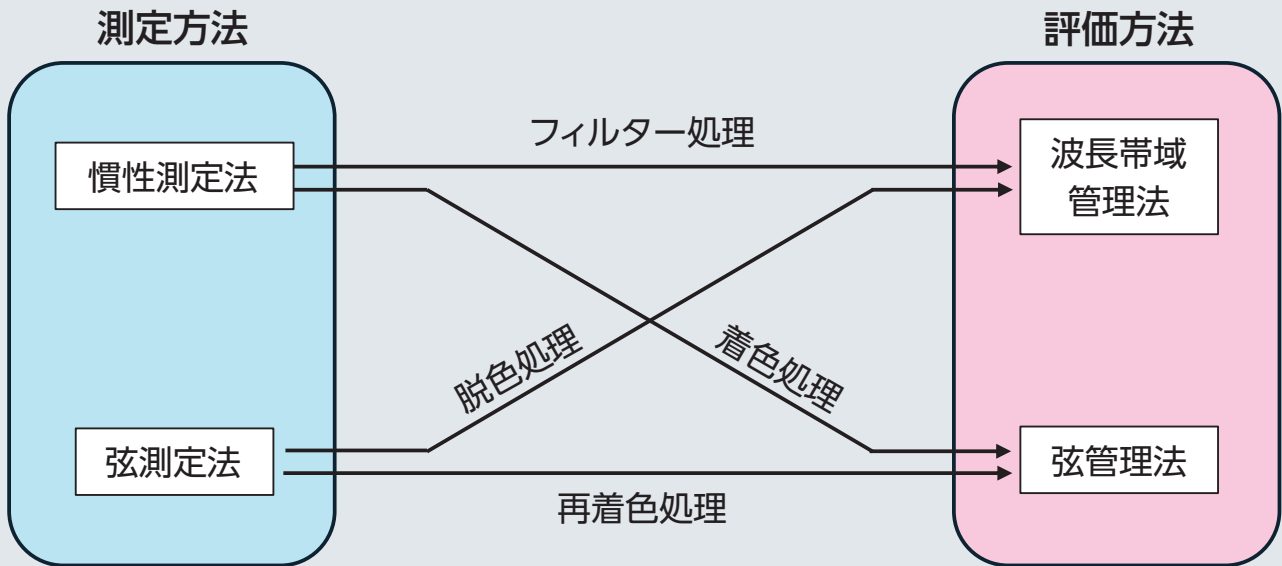
前述のように、日本と欧州・中国で用いられている軌道変位の評価波形が異なるという状況下において、軌道変位の管理に関する国際規格を開発するための基礎的な検討が2015年10月に中国の主導のもとISO（国際標準化機構）で開始されました。

2017年11月から開始された本格的な国際規格審議の初期段階では、波長帯域管理法を採用する欧州と中国が、欧州規格や中国規格をベースとして積極的に活動する一方で、弦管理法を採用する日本は英語の文献が少なく劣勢を強いられました。しかし、前述のように、弦管理法も波長帯域管理法も、鉄道車両の走行安全性や乗り心地の確保の観点において、技術的には同じことを行っていることを地道に説明し続けま

した。その一環として日本から、図6に示す軌道変位の2つの測定方法と2つの評価方法の関係を提示しました。この図は、「異なる2つの測定方法で得られた軌道変位の波形は、2つの評価方法の波形に相互に変換可能」ということを端的に示しており、欧州・中国の技術者にも次第に受け入れられるようになりました。

その後、約5年に及ぶ審議を経て、2022年8月にISO 23054-1（軌道変位の特性と軌道変位品質）という国際規格が発行されました。発行された国際規格には、図6と同様の図が記載されており、日本で用いられている弦管理法が、欧州・中国で用いられている波長帯域管理法と同列に取り扱われていることを意味しています。

その一方で、ISO 23054-1は、欧州規格をベースとして開発したこともあり、欧州規格に記載されていた「フィルター処理」と「脱色処理」の詳細技術が記載されたのに対し、弦管理法の波形を得るための「着色処理」と「再着色処理」については用語のみが記載されるにとどまりました。そこで日本からISO 23054-1を補完するための「弦管理法」に関する技術報告書の開発を提案し、2022年6月から本格的な審議が始まりました。この時期は世界的なコロナ禍の影響もあり、1回3時間程度の短いウェブ会議を2



処理	概要
フィルター処理	慣性測定法の波形から、特定の波長成分を抽出して、波長帯域管理法の波形を得る処理
脱色処理	弦測定法の波形から、波長による波形ひずみのない感度が平坦な、波長帯域管理法の波形を得る処理
着色処理	慣性測定法の波形から、特定の波長が強調された弦管理法（正矢法）の波形を得る処理
再着色処理	弦測定法（偏心矢法）の波形から、弦管理法（正矢法）の波形を得る処理

図6 軌道変位の測定方法と評価方法の関係

～3か月程度に1回の頻度で開催しながら、地道にまとめていきました。その結果、2025年3月にISO/TR 8955（軌道変位の弦管理法）が発行されました。これによって、日本で広く用いられている「弦管理法」が、名実ともに「波長帯域管理法」と同列の技術になりました。

ある「弦管理法」を国際標準化するための一連の取り組みについて紹介しました。今後も、日本の軌道の維持管理技術の国際標準化に取り組んでいきたいと考えています。RRR

### おわりに

ここでは、鉄道車両の走行安全性と乗り心地を確保するための軌道変位の測定方法と評価方法について、日本と欧州・中国の違いについて説明するとともに、日本の軌道変位管理技術で

### 文 献

- 1) 田中博文, 斉藤大樹, 坪川洋友: 車両の走行安全を確保する軌道変位の波形を管理する, RRR, Vol.81, No.3, pp.44-49, 2024
- 2) 三和雅史, 矢澤英治, 佐野弘典, 山口剛志: 高頻度の検測で軌道の状態変化を診る, RRR, Vol.73, No.2, pp.12-15, 2016
- 3) 田中博文: 軌道変位の国際標準化に向けた取り組み, JREA, Vol.68, No.2, pp.52-55, 2025