

KEC情報

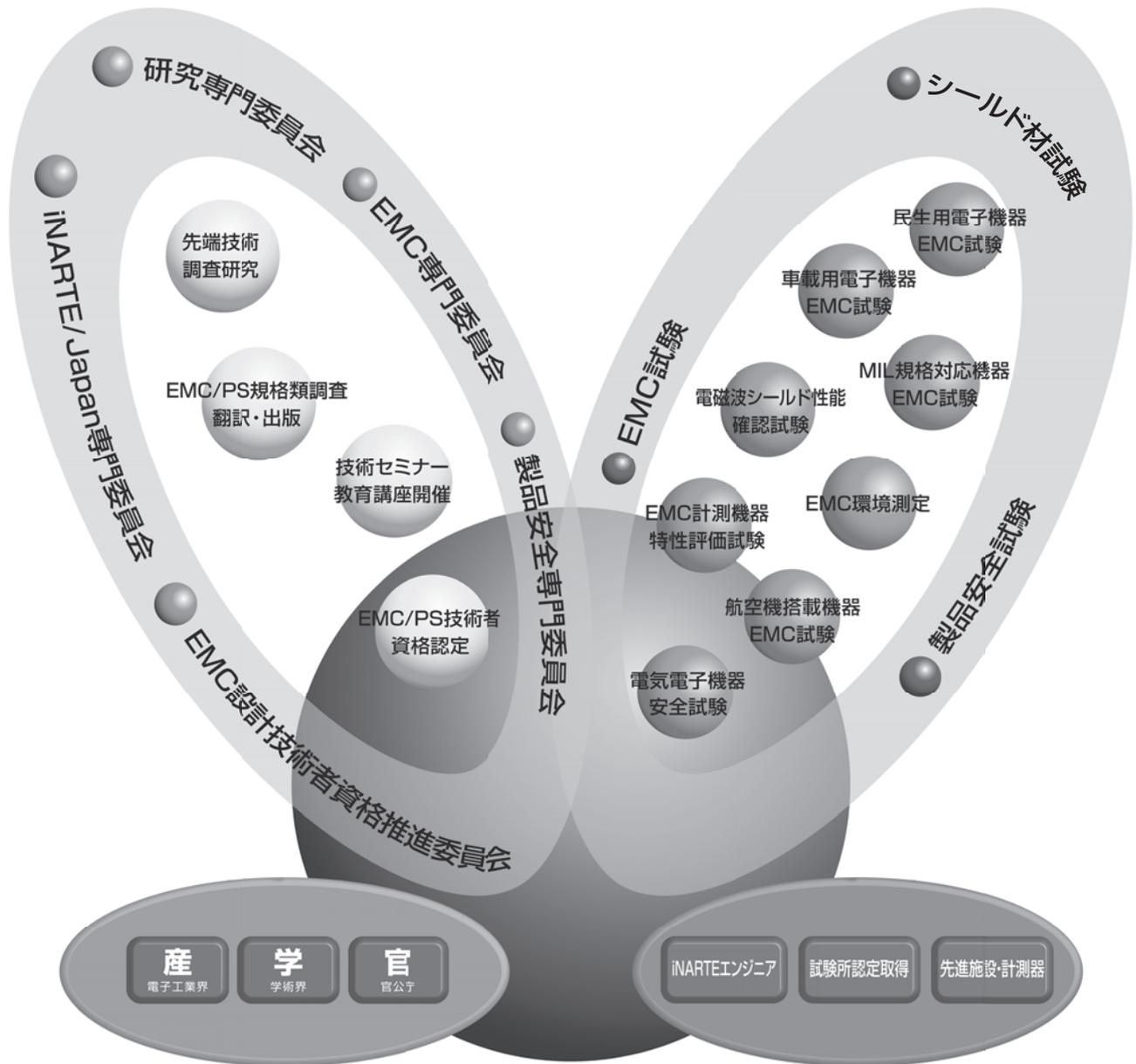
No. 270

July. 2024

「信頼性評価におけるソフトウェア技術の活用」

- 供試品の公表寿命と堅牢性を用いた寿命分類モデルの検討
- SEM-EDXスペクトラムイメージングデータの主成分分析結果に対する考察
- ケーブル屈曲寿命の予測における従来手法と機械学習との比較評価
- プリント配線板における部分放電開始電圧予測検討(～5MHz)

ソフト&ハード両面で 電子業界の技術力向上を支援します



委員会事業

委員会活動は、広く産・学・官の方々のご協力を得て、電子関連の先端技術の調査・研究や各種セミナー・技術講座の開催及び規格解説書・ガイドブック出版等を通じ、電子業界の技術力向上や人材育成を支援しています。

EMC・製品安全試験事業

試験事業部は、試験品質システム規格であるISO/IEC 17025に基づく試験所認定を取得しており、世界に認められたEMC総合試験機関として充実した設備群を有し、ご利用者の製品開発におけるEMC及び安全試験を支援しています。

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター

KEC Electronic Industry Development Center

<https://www.kec.jp/>

第65回通常総会開催される

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 第65回通常総会は、去る6月14日(金)10時30分からオービック御堂筋ビルにて、総勢約60名にて盛大に開催されました。

会議の冒頭、小川会長(パナソニック ホールディングス株式会社 執行役員 グループCTO)から以下の挨拶がありました。

<小川会長挨拶>

皆様、本日は大変お忙しい中、KECの通常総会へご参加いただき、誠にありがとうございます。改めて御礼を申し上げます。会長を拝命しておりますパナソニック ホールディングスの小川でございます。

KECは、情報通信やその他の技術分野に広く貢献する目的で、関西を中心とする企業24社で1961年に活動を開始しました。今般では当時の10倍以上の約250社の会員の皆様に、測定サイトをご利用、セミナーや委員会でご活動いただいております。

情報通信技術があらゆる産業分野に拡がり、昨今ではカーボンニュートラルの流れの中で電化が進んでいます。産業や車載の分野でも、ノイズ対策だけでなく、パワエレ機器や車載機器の開発にも、我々は測定技術を進化させながら、皆様にサービスを引き続きご提供し続けています。また、この3月には新しい試験棟としてのE3ラボをけいはんな地区に竣工いたしました。

E3ラボの電波暗室は、大型機器に対応しており、自動車一台を収納してターンテーブルで回しながら測定ができます。また、CISPRの最新規格にも国内でいち早く対応しました。今後、様々な試験でご利用いただけると考えております。

KECは、これからも、皆様のビジネスや研究開発が進むことで社会のお役にたてますよう努めてまいります。それと共に、社会の公器として活動の幅を更に広げていければと考えておりますので、引き続き皆様のご支援とご厚情を賜りますようお願い申し上げます。

以上、総会にあたりまして一言ご挨拶を申し上げます。どうもありがとうございます。今後ともどうぞよろしくお願いいたします。



第65回通常総会 会長挨拶

会長の挨拶の後、議案審議に入り、柳川専務理事から説明され、審議の結果全議案が承認されました。

議案の要点は以下のとおりです。

□第1号議案 「2023年度事業報告及び決算に関する件」

柳川専務理事より、2023年度は、大型・大電力EMC試験、専門技術のプレゼンス、業務生産性の、3つの価値に注力する、新中期計画「脱炭素社会への価値確立(Green Value Creation & Acquisition)」の初年度であり、今まで培ってきた事業基盤を活かし、事業を通じた業界貢献の拡大と、将来に向けた事業基盤の強化に取り組んだと説明されました。

事業方針「脱炭素社会への価値の具現化・増強(Green Value Creation)」のもと、さらなる成長に向け、価値の「探索」から価値の「具現化・増強」に活動の重点を進化させ、

KECの価値実現に向けた「挑戦」と「改善」の2つの活動に注力し、特に、産業分野及び依頼試験を強化したとの総括と共に、議案書に基づき各部門の活動結果及び決算について説明されました。

また、本報告の最後に、大島監事より、2023年度の監査結果の報告があり、事業報告書、計算書類及びその附属明細書並びに公益目的支出計画実施報告書について、その内容が真実かつ妥当であると報告されました。



第65回通常総会 会場風景

□第2号議案 「2024年度事業計画(案)及び予算(案)に関する件」

柳川専務理事より、2024年度は、新中期計画「脱炭素社会への価値確立(Green Value Creation & Acquisition)」の2年目であり、今まで培ってきた事業基盤を活かし、事業を通じた業界貢献の拡大と、将来に向けた事業基盤強化に取り組むとともに、さらなる成長に向け、価値の「具現化・増強」から価値の「事業化・経営貢献」に活動の重点を進化させ、事業方針「脱炭素社会への価値の事業化・経営貢献(By Green Value, Make a business)」として、KECの価値実現に向けた「挑戦」と「改善」の2つの活動で、新試験棟(E3ラボ)を徹底活用に取り組むとの事業方針の後、議案書に基づき各部門の活動計画及び予算について説明されました。

□第3号議案 「役員選任(案)に関する件」

柳川専務理事より、議案書に基づき、下表について説明されました。

○任期途中の辞任に伴う後任理事(3名)

区分	氏名	会社名	役職・所属等
辞任	岩野 功史	ダイヤモンドエレクトリックホールディングス株式会社	執行役員 電子機器本部 本部長
後任	宮城 康夫	同上	執行役員 エネルギーソリューション本部長 ES 技術本部長

区分	氏名	会社名	役職・所属等
辞任	古矢 勝彦	ニチコン株式会社	執行役員 NECST事業本部 技師長
後任	高森 信之	同上	執行役員 NECST事業本部 技術開発本部長

区 分	氏 名	会社名	役職・所属等
辞 任	朝日 宣雄	三菱電機株式会社	執行役員 DXイノベーションセンター長
後 任	石原 鑑	同 上	IoT・ライフソリューション新事業推進センター長

また、船越 秀明様(船井電機株式会社 取締役)が理事を辞任されたことを報告されました。

よって、2024年度の役員体制は以下となりました。

2024年度 役員一覧表

(2024年6月14日)

会 長	小 川 立 夫	パナソニック ホールディングス株式会社
副 会 長	海 藤 克 明	株式会社島津製作所
	” 古 橋 健 士	ホシデン株式会社
	” 岩 坪 浩	株式会社村田製作所
専務理事	柳 川 良 文	一般社団法人 KEC関西電子工業振興センター
常務理事	時 岡 秀 忠	一般社団法人 KEC関西電子工業振興センター
理 事	吉 村 元	株式会社三社電機製作所
	” 高 橋 良 典	新コスモス電機株式会社
	” 宮 城 康 夫	ダイヤモンドエレクトリックホールディングス株式会社
	” 谷 口 方 啓	TOA株式会社
	” 高 森 信 之	ニチコン株式会社
	” 田 中 英 二	日本電音株式会社
	” 石 原 眞 次	古野電気株式会社
	” 石 原 鑑	三菱電機株式会社
	” 大久保 稔	ヤンマーホールディングス株式会社
		以上15名
監 事	小路山 憲 一	アイコム株式会社
	” 大 島 敬 二	エスベック株式会社
		以上2名
		総合計17名

総会終了後に懇親会が開催されました。開会にあたり挨拶に立った柳川専務理事からは、総会にて全ての議案をスムーズに審議・承認いただいた会員各社のご代表並びにご参加の方々に対して謝辞がありました。

続いて、ご来賓として、近畿経済産業局地域経済部長の黒田 俊久様よりご挨拶をいただきました。

＜黒田地域経済部長ご挨拶＞

近畿経済産業局の黒田と申します。僭越ながらご挨拶させていただきます。

ご報告いただいたように、KEC関西電子工業振興センターの第65回通常総会が、滞りなく終了されたことと伺っています。小川会長初め多数の方々のご臨席の中、このような懇親会が盛大に開催されますことをお喜び申し上げます。また、本日ご参加の皆様方の経済産業行政へのご支援にも感謝申し上げます。

昨今、設備投資は30年ぶりに100兆円規模と非常に活況で、企業皆様の温かいご支援のおかげで賃上げも5%を達成でき、日本もようやく成長型経済への転換の兆しが見えてきたと感じています。この成長を確実なものとするために、着実に前向きな挑戦を進め、日本の経済をより強固なものに構造転換していく必要がございます。

このような状況の中、社会課題を解決する新技術やサービスが披露され、実体験できる大阪・関西万博は、国内外からたくさんの方々に関西に来訪し、大きなビジネスチャンスだと考えております。

近年、インフラとして電波の利用はますます重要なものになってきております。通信産業はもちろんのこと、今後重要となる炭素廃出を削減するためのエネルギー変換技術等でも電波干渉が大きな問題となってきました。一方、ポスト5G、或いはBeyond 5G等電波の高度利用が大きなイノベーションに繋がることも期待しております。

KEC様におかれましては、関西の電子技術の向上を目的に設立されまして、これまで各種セミナーを通じての先端技術の情報提供や、EMC試験、製品安全試験等に、積極的に取り組まれてこられました。特に、今年3月に竣工したE3ラボは、電波との共生、更には高度技術イノベーションの萌芽を確実につかまえていくために重要で、大変貴重なインフラと認識しています。E3ラボの利活用を通じて、日本の成長に更に弾みがつくことを期待しております。

本日ご参集の皆様方のますますのご健勝と関西経済の長期にわたる繁栄を祈念いたしまして、私の挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。



懇親会 近畿経済産業局 地域経済部長 黒田様 ご挨拶

引き続き、大阪府商工労働部中小企業支援室ものづくり支援課長の岡本 隆之様のご挨拶並びに乾杯のご発声で歓談が晴れやかにスタートしました。

＜岡本課長ご挨拶＞

大阪府中小企業支援室、岡本と申します。本日は通常総会、懇親会のご盛会を心からお喜びを申し上げます。皆様にはまた日頃から大阪府政の推進に格別のご理解、ご協力を賜りまして誠にありがとうございます。

言うまでもなく電子工業は、大阪、関西、また我が国の産業を牽引する基幹産業です。私たちの生活、地域における雇用、ものづくりを始めとする幅広い分野を支え、社会に貢献いただいております。

また、自動化技術、AIなど目まぐるしい技術革新が進む中、私共がご支援している中小企業におかれましても、DXやカーボンニュートラル等への取り組み、新技術や新製品の開発も強く求められている状況です。

貴センターが今年3月に竣工されました国内初で最新の国際規格に対応した大型電波暗室について、大阪府と大阪市が設立団体である大阪産業技術研究所の研究員に訊きましたところ、30MHz以下の低周波数域で国際規格に準拠してEMC測定が可能な点が大変優れているとのことでした。

新しい大型電波暗室設置も含め、貴センターにおかれましては、技術者の育成、EMC試験、製品安全試験を通して、業界の成長発展のために日々取り組んでおられることに、小川会長様を初め役員の皆様、会員企業の皆様にご心から敬意を表したい所存でございます。

大阪・関西万博では世界の英知を結集した新技術、サービスで「いのち輝く未来社会」を世界に発信をしております。大阪府としても、大阪府の強みであるライフサイエンス産業のリーディング産業化、カーボンニュートラルで世界を先導する取り組み等も着実に推進して参りたいと思います。加えて、先端技術、サービスの社会実装にも取り組んでいきたいと考えておりますので、皆様には引き続きご理解、ご協力をお願い申し上げます。



懇親会 大阪府商工労働部 中小企業支援室
ものづくり支援課長 岡本様 ご挨拶

また、司会者より吉村大阪府知事から頂戴したメッセージを紹介しました。

続いて、これまでKEC理事を務めていただきました古矢前理事、朝日前理事からご挨拶をいただき高森新理事、石原新理事から新任のご挨拶をいただきました。

最後に、吉村理事(株式会社三社電機製作所 代表取締役社長)に、中締めとして、従業員と交流を深める取組みのご紹介の後、関係者一同並びにKECの今後の発展を祈念しての全員での一本締めで締めくくっていただきました。



懇親会 吉村理事 中締め挨拶



懇親会 会場風景

以上のとおり、KEC第65回通常総会は盛会裏に終了することができました。

2024年度事業計画

1. 事業方針

2024年度は、新中期計画「脱炭素社会への価値確立(Green Value Creation & Acquisition)」の2年目です。今まで培ってきた事業基盤を活かし、事業を通じた業界貢献の拡大と、将来に向けた事業基盤強化に取り組むとともに、さらなる成長に向け、価値の「具現化・増強」から価値の「事業化・経営貢献」に活動の重点を進化させ、2024年度 事業方針「脱炭素社会への価値の事業化・経営貢献(By Green Value, Make a business)」として、KECの価値実現に向けた「挑戦」と「改善」の2つの活動で、新試験棟(E3ラボ)を徹底活用し、「総収入 876百万円(前年比112%)」を目標とします。

1.1 総務事項

「KEC基盤強化」の一環として、過去10年以上変わっていない制度・規程・運営や仕組みをデジタル技術やオンライン技術も活用して時代に合わせた形に進化させ、前年までに投資したITシステムを徹底活用し、業務生産性の向上として経営貢献につなげていきます。

「KECプレゼンス強化」の取組みでは、2024年4月に操業を開始した新試験棟(E3ラボ)を核に、見学会・記念セミナー、展示会出展、タイアップ記事等でKECの訴求を強化し、会員数の拡大、ご利用の拡大に取り組みます。また、KECウェブサイトやKEC情報誌の刷新等により、KECのステータス向上に努めます。

1.2 委員会活動

委員会活動では、下記2点の重点取組みを推進します。

1点目は、「業界全体の技術力向上への貢献」の取組みです。国際規格や業界への貢献を目指し、EMC専門委員会では、リアル会議によるコミュニケーション強化で、活動目標の強化や技術的な深掘りに注力します。また、製品安全専門委員会では、外部アドバイザー・講師を招聘し、事例の共有強化と製品安全のレベルアップに取り組みます。規格策定国際会議への意見反映、学会発表やセミナー等での講演、KEC情報誌、KECウェブサイト等でのタイムリーな発信等で、社会や業界、技術進化に貢献します。

2点目は、「業界の技術者の成長・地位確立」の取組みです。技術講座やセミナーにおいて、前年度の受講者のアンケート結果を活用し、受講者の理解度・満足度向上を目指し、内容の充実に取り組みます。また、技術者の地位向上を目指したiNARTE資格試験においては、受験資格である実務経験年数の緩和に向けたAssociate資格の導入と、行政・公的機関・企業とも連携した資格の価値訴求強化で知名度・ブランド力の向上を図り、受験者数の拡大に取り組みます。同時に、米国EG社との連携を図り、資格制度や運営の進化についても継続的に検討していきます。

1.3 試験事業部門

試験事業部では、国際規格改定・更新等によるご利用増と、新試験棟(E3ラボ)徹底活用で、既存設備で対応できなかった案件の獲得に取り組み、試験料収入の前年二桁成長を目指します。加えて、規格改定を梃子に依頼試験比率向上にも

努めます。

この方針の基、以下2点の重点取組みを推進します。

1点目は、「試験の強化・拡大」の取組みです。まず、設備投資においては、前年度実施した新試験棟(E3ラボ)関連投資の事業化・経営貢献に注力し、2024年度は、お客様要望の多い新試験・能力拡大と、老朽化設備の更新に絞って投資します。また、認定・認証では、ISO/IEC 17025認定維持とともに、新試験棟(E3ラボ)第15電波暗室の認定獲得と、技能試験プロバイダとしてのISO/IEC 17043の2023年度版への認定更新も計画します。

2点目は、「技術の貢献強化と新事業の創出」の取組みです。前年度実施した7つの技能試験のうち、「放射エミッション(GHz)」、「通信ポート伝導エミッション」、「電源ポート伝導エミッション」を休止し、これら試験の改善・進化に取り組みます。2024年度は、上記以外の4つの技能試験を実施すると共に、ご要望の多い技能試験回付治具の貸出も強化します。リバレーションチャンバー及び、拡張GHz KEC法の18GHz以上への周波数拡大に関しては、ニーズや技術課題等も整理し、課題解決に向けて継続して検討・推進していきます。

1.4 2024年度事業計画

2024年度は、新試験棟(E3ラボ)の減価償却と、不動産取得税等の一時費用を含めた税引前収支(税引前の正味財産増減額)は△45百万円、税引後の正味財産増減額は△46百万円の計画とし、更なる収入増と費用減に取り組むことで2025年度の白字化を目指します。

なお、2024年度公益目的財産の消費予定額は、当初の計画に沿って、委員会活動による66百万円とします。

<2024年度 事業計画>

(単位:百万円)

		2023年度		2024年度	前年比/差 (%)
		計画	実績	計画	
収 入	会費収入等	42	42	43	102%
	試験料収入	715	665	760	114%
	その他収入	73	74	73	99%
	計	830	781	876	112%
支 出	人件費	308	323	324	100%
	管理費	287	294	320	109%
	減価償却費	132	133	262	197%
	退職給付費用	15	17	15	88%
計	742	767	921	120%	
収支差額		88	14	△45	△59
消費税還付金		175	197	0	△197
税引前収支		263	211	△45	△256

供試品の公表寿命と堅牢性を用いた 寿命分類モデルの検討

エスベック株式会社
開発本部 開発1グループ

藤本 恵一

2023年の信頼性セミナーでは、「公開データ(電池寿命)を用いた機械学習による寿命評価の試み」として、後述の論文とその公開データから機械学習によるリチウムイオン電池の寿命分類方法を発表した。本報告では、その分類モデルの考え方を供試品の公表寿命と堅牢性(ここではHALT結果)に適用し、HALTを用いた製品評価を数値化する手段の1つとして、データセット作成から寿命分類までの過程と結果を紹介する。

1. はじめに

米国のメーカーに製品を納入する場合、自動車、航空機、半導体等のメーカーからHALT(Highly Accelerated Limit Tests)結果を要求される場合がある。それらのHALT結果は製品の堅牢性指標として、スクリーニングなどに使われると推定しているが、その方法は明らかではない。HALT結果の活用例としては、McLean^[1]らが報告した、統計手法を用いてMTBFを予測する事例があり、筆者は以前からその考え方を機械学習モデルに置き換えることを考えていた。

さて、昨年の信頼性セミナーで発表した「公開データ(電池寿命)を用いた機械学習による寿命評価の試み」^[2]では、Severson^[3]らの論文とその公開データ(電池の充放電試験)を参考に、独自に再現した電池寿命を分類する機械学習モデルを紹介した。

また、このモデルを用いて、供試品の公表寿命を目的変数、HALT結果(堅牢性と機能試験)を説明変数としたデータセットを用いれば、機械学習による寿命分類モデルの検証が行えると考えてHALT結果取得とデータセットの解析を進めてきた。

2. 公開データを用いた機械学習分類モデル

「公開データ(電池寿命)を用いた機械学習による寿命評価の試み」で紹介したのは、電池寿命を目的変数に、電池寿命に到達するまでの充放電曲線のデータから抽出した幾つかなの特徴量を説明変数にして、正規化ロジスティック回帰により分類を行うモデルの機械学習プログラムで、訓練データでほぼ100%、テストデータで90%以上の正解率を得る事ができた。公開データは約120セットのデータからなり、精度の高い機械学習モデルを作成できる条件を備えていた。

また、この機械学習プログラムの作成中に、生成AIを使用すれば簡単なプロンプト入力により実用的なプログラムコードの生成が可能なが判ったので、本報告のプログラムの生成と修正にも活用している。

3. HALTの条件と結果

3.1 供試品の選定

寿命が製品仕様や試験データにより既知であり、比較的安価で入手可能な供試品を検討した結果、以前にHALTを実施したDCファンを選択した^[4]。以下に供試品の選択条件を、表1に供試品の一覧を表示する。

- ・機械学習の目的変数として公表寿命(L10)を使うが、同一寿命の供試品を複数個使用する。
- ・同じメーカーの供試品で訓練データ(75%程度)が設定できる個数とし、残りを別メーカー品とする。
- ・温度と振動の動作限界値、ファン回転数、電流データ、製品仕様を元データとして説明変数を作成する。そのため、回転数モニタ端子を持ち、モデル精度向上のために可能な限り広い公表寿命範囲から製品を選ぶ。



図1 供試品の振動テーブル取付け状態

表1 供試品一覧

供試品名	メーカー	使用温度範囲(℃)	40℃寿命(万時間)	個数
FAN1	A	-40~85	16.2	4
FAN2	A	-20~60	5.3	4
FAN3	A	-20~70	9.0	4
FAN4	A	-20~70	21.5	4
FAN5	A	-30~70	21.5	1
FAN6	B	-10~60	4.1	2
FAN7	C	-20~85	10.0	1
FANサイズ80*80*25mm、定格電圧12V、軸受けはベアリング				

3.2 試験条件

共通試験条件を表2に示す。ステップストレス試験は供試品4個をHALT装置に取付け、低温ステップ、高温ステップ、振動ステップを1セットとして5回実施した。各ステップストレス試験の供試品は表3のHALT結果一覧に示す。供試品は図1に示すように振動テーブルに固定し、供試品取付位置での振動レベルの差は各固定治具上の振動レベル測定値から補正を行った。

表2 共通試験条件

供試品	取付け治具	図1参照
	供給電圧	定格電圧
機能試験	項目	ファン回転パルス、電圧、電流
	稼働限界	回転数が70%以下、異常動作
温度範囲	-100~130℃	
振動範囲	5~75Grms / 5Grms間隔	

3.3 HALTの結果

結果は、低温動作限界(LOL)、高温動作限界(UOL)、振動動作限界(VOL)と機能試験結果として、電流変化、回転数変化が得られた。表3にはLOL、UOL、VOLのみを示し、その他のデータについては機械学習の説明変数の選択で説明する。40℃寿命(万時間)は以降、寿命(万時間)又は寿命と省略する。

表3 HALT結果一覧

試験	FAN	寿命(万時間)	LOL	UOL	VOL
1	1	16.2	-90	130	50
	2	5.3	-70	130	75
	3	9.0	-80	130	75
	4	21.5	-80	130	75
2	1	16.2	-80	130	50
	2	5.3	-80	130	65
	3	9.0	-80	130	75
	4	21.5	-90	130	70
3	5	21.5	-80	130	40
	6	4.1	-60	130	45
	6	4.1	-60	120	25
	7	10.0	-90	130	75
4	1	16.2	-80	130	55
	1	16.2	-80	130	45
	3	9.0	-80	130	75
	4	21.5	-80	130	75
5	2	5.3	-90	130	75
	2	5.3	-90	-	55
	3	9.0	-80	130	75
	4	21.5	-80	130	75

4. 機械学習用データの作成

4.1 HALT結果と製品仕様からの特徴量の作成

表3に示したように実測データは20個で、1個はデー

タの一部欠損のため19個のデータで機械学習を行うことになる。データ数が少ないために分類精度が低下する可能性があるため、説明変数を増やすことで機械学習の結果を安定させることにした。

表4に作成した特徴量39個の一覧を示す。6個程度の実測及び仕様値から作成した特徴量は、多重共線性(特徴量間の大きな相関性)が生じる可能性が高く、重回帰分析系モデル作成時の過学習により、不必要に複雑なモデルが生成する可能性がある。

そのため作成した特徴量と寿命、特徴量間の相関図より、特徴量間の相関が大きい変数を取捨選択して説明変数を選び、正則化の方法を用いてモデル作成時に過学習を防止することで、説明変数がある程度多い場合でも、良好な分類モデルの作成が行える。表4については以下に説明を追加している。

- ・RF(Robustness Factor)

Morris^[5]が示したHALT結果の評価指標で、以下に説明を引用する。「温度ロバストネスファクター(RF_T)は、異常が発生した温度範囲(T_{anomaly})の設計温度範囲に対する比率である。RF_Tは、以下の式に従って、低温と高温の異常が発生した温度で計算することができる。ここで、T_{low}とT_{high}は製品設計の温度制限であり、T_{mid}は低温と高温の設計温度制限の平均を示す。」(筆者訳)

$$RF_{T,low} = \frac{T_{anomaly} - T_{mid}}{T_{low} - T_{mid}} \quad T_{mid} = \frac{T_{high} + T_{low}}{2}$$

$$RF_{T,high} = \frac{T_{anomaly} - T_{mid}}{T_{high} - T_{mid}} \quad \text{式(1)}$$

- ・回転パルス及び電流の分散

分散1:各ステップストレス試験の初期値～限界値までの全てのデータを用いて各供試品で計算。

分散2:各限界値の範囲のみで各供試品で計算。

分散3:全供試品中で最小の限界値にあわせて各供試品で計算。

- ・特徴量を正規化するためにZscoreを使用した。

表4 作成した特徴量

特徴量名	低温/高温/振動	変数名
動作	限界	LOL/UOL/VOL
	マージン	UOL-仕様値 / LOL-仕様値
	温度幅	UOL-LOL
RF	温度のみ	RFTlow, RFThigh
回転パルス	分散1	分散値の対数
	分散2	分散値の対数
	分散3	分散値の対数
	変化率1	各限界値での平均
	変化率2	全供試品中最小限界値での平均
電流	分散1	分散値の対数
	分散2	分散値の対数
	分散3	分散値の対数
	変化率1	各限界値での平均
	変化率2	全供試品中最小限界値での平均

※L/U/V+f_vrはLf_vr, Uf_vr, Vf_vrを意味する。以下同じ。

4.2 説明変数の選択

説明変数は特徴量から、LOL、RFTlow、RFThigh、VOL、Lf_vr、Uf_vr、Li_vr、VOLf_vr、LVOLF_vr、LOLi_av、UOLi_avを選択。目的変数は表3の列名‘寿命’を‘life’に変え、1列目として説明変数と結合して、機械学習用データ(以降data2)とした。紙面の都合で図2に説明変数2例のみを示す。

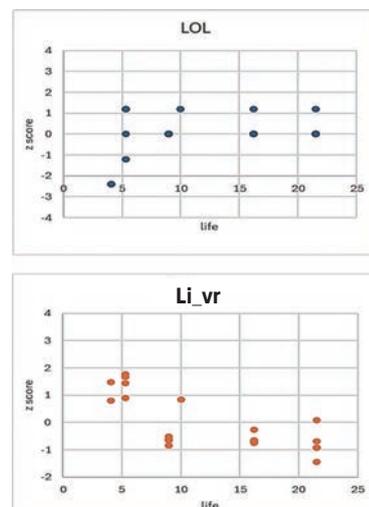


図2 説明変数例

5. 機械学習モデル作成と結果

5.1 寿命分類の方法と評価指標

寿命分類については先に述べた回帰型のモデルである正則化ロジスティック回帰分類と、比較のために分類型のモデルであるランダムフォレスト分類をPythonで作成した。以下に方法について説明する。

(1) 正則化ロジスティック回帰

前章で作成したdata2を読み込み、'life'を設定した寿命閾値(例えば10万時間)で0、1に変換し、下記の正則化ロジスティック回帰モデル式に従ってシグモイド関数で最適に分類できるように、訓練データよりモデル式を求め、データの分類と結果評価を行う。

正則化ロジスティック回帰は、その損失関数に λ 以降の正則化項(L2と呼ぶ)が加えられており、この損失関数を最小にする λ (scikit-learnの関数ではC)を求めることで分類精度を上げることができる。

$$\text{モデル式} \quad h_a(x_i) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad \text{式(2)}$$

$$X = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_{11} x_{11}$$

ロジスティック回帰の損失関数

$$L(a) = - \sum_{i=1}^m [y_i \log(h_a(x_i)) + (1 - y_i) \log(1 - h_a(x_i))] + \lambda \sum_j^n a_j^2 \quad \text{式(3)}$$

$h_a(x_i)$:目的変数(予測), y_i :目的変数(入力), x_i :説明変数 a_i :切片&係数 m :サンプル数 n :説明変数の数 $\lambda = C$:正則化パラメーター

(2) ランダムフォレスト

ロジスティック回帰との比較のため、data2を同様に寿命閾値で0、1に変換し、訓練データよりランダムフォレスト分類のモデルを求めデータの分類と結果評価を行う。

ランダムフォレストはアンサンブル学習の一種で、複数の決定木を学習させて多数決をとる手法である。決定木は機械学習で分類などに用いる方法で、例えばN個のデータを複数の要因によって、基準値を超過の有無で分類する事などに使われるが、過学習になり易い欠点がある。

確認のため、data2を用いて決定木及びランダムフォレスト分類モデルを作成し、テストデータの分類精度を比較すると、決定木は非常に悪く、ランダムフォレストは比較的良好であった。そのため後者を採用した。

scikit-learnを使ってランダムフォレスト分類を行う場合は、RandomForestClassifierを使用する。ランダムフォレストの最適化対象パラメーターは多数あるが、今回は下記の3つのパラメーターを対象とした。

- n_estimators:決定木モデルの本数。
- max_depth:それぞれの決定木モデルの深さ。過学習抑制に重要で、値小でモデル精度低下、値大では精度は向上するが過学習の可能性がある。
- min_samples_leaf:決定木の分割後に葉に必要となるサンプル数。

(3) 評価指標

分類の評価指標の正解率、適合率、再現率について、表5の混同行列と共に示す。

$$\text{正解率(Accuracy)} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$$

$$\text{適合率(Precision)} = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$\text{再現率(Recall)} = \frac{TP}{TP+FN}$$

表5 混同行列

混同行列		予 測	
		Negative	Positive
実測	Negative	True Negative (真陰性)	False Positive (偽陽性)
	Positive	False Negative (偽陰性)	True Positive (真陽性)

5.2 生成AIによる分類モデル作成

図3-1に正則化ロジスティック回帰による分類のフローチャートを示す。図3-1の点線枠の部分を図3-2に置き換えると、ランダムフォレストによる分類のフローチャートとなる。このフローチャートに基づく、bingAI用のPythonコード生成用プロンプトとして、正則化ロジスティック回帰分類の基本コード生成用を記載する。ランダムフォレストの場合もこのプロンプトを参考に作成可能である。

また、bingAIに入力時は会話のスタイルで「より厳密に」を選択のこと。本報告で使用したPythonコードも基本コードをbingAIで作成し最適化の範囲、グラフ化などの部分をAIとの対話で修正している。ChatGPTでも同様に生成可能である。

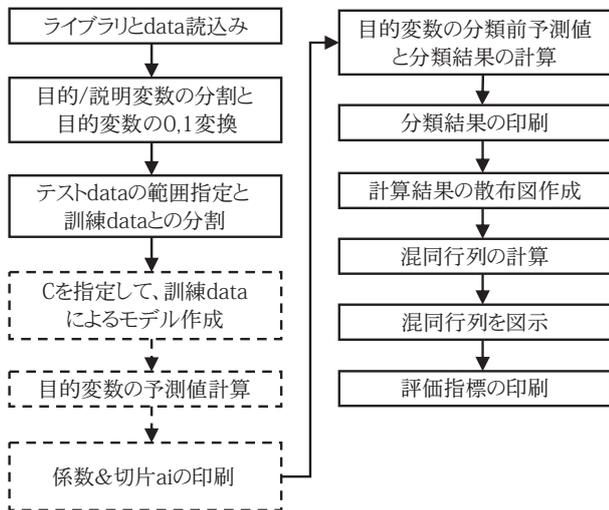


図3-1 正則化ロジスティック回帰フローチャート

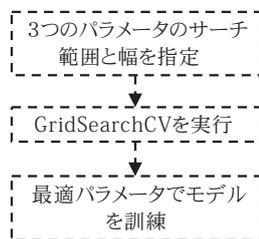


図3-2 ランダムフォレスト用変更分

(1) 正則化ロジスティック回帰分類の場合のプロンプト例
以下の指示に従い、入力したデータセットの分類を行う、Pythonコードを作成して下さい。

1. CSVファイル(shift-jis)でデータを読み込む。データには、目的変数('life')と複数の説明変数が含まれる。
2. 'life'列を目的変数、それ以外を説明変数とする。目的変数の値が10以上では1、それ以外は0にする。
3. データセットの25%をテストデータに、残りを訓練データに分割する。
4. ロジスティック回帰モデル(L2)を訓練データに適用し、正解率を評価指標としてグリッドサーチで最適化。
5. 最適なパラメータ値で、訓練データとテストデータの予測値を計算し、モデルの切片と係数を表示する。

6. 実際の目的変数の値と予測された確率の散布図を作成する。
7. 混同行列を計算し、ヒートマップとして表示する。
8. 正解率、適合率、再現率を表示する。

5.3 正則化ロジスティック回帰分類の結果

(1) 分類の設定と結果

表6に示すように、テストデータ数と寿命閾値を変更して実施したところ、テストデータが最後から5個では寿命閾値に係らず訓練・テストの全データの正解率が1になるCの値が存在した。Cが小さくなるとモデルが複雑化するのを考慮し、寿命閾値10(万時間)、C=0.5を採用した。図4-1、2に示すように分類は正確であり、正解率、適合率、再現率は全て1であった。表7には回帰式Xの係数と切片を示す。

表6 テストデータ数及び寿命閾値と正解率

テストデータ	最後から9個	最後から5個	
寿命閾値 万時間	10	6	15
全データの正解率が1になるC値	なし	0.5	0.1 0.25

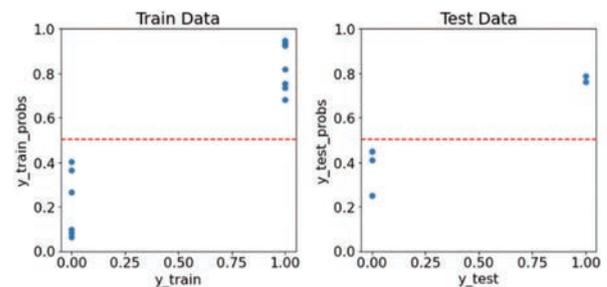


図4-1 目的変数とその予測確率

		Train Data		Test Data	
		予測		予測	
実測	Negative	Negative	Positive	Negative	Positive
	Positive	6	0	3	0
Negative	0	8	0	2	

図4-2 訓練及びテストデータの混同行列

表7 回帰係数及び切片

切片		LOL	RFTlow	Lf_vr	Li_vr	LOLi_av	Uf_vr
0.302	係数	0.575	-0.41	0.046	-0.178	-0.118	0.468
		UOLi_av	RFThigh	VOL	VOLf_vr	LVOLf_vr	
		0.126	-0.741	-0.22	-0.331	-0.003	

(2) クロスバリデーションによるモデル検証

評価スコアが良すぎるので、クロスバリデーション(以降CV)による検証を行った。テストデータ数は5個のため、全19個のデータからは1個を重複使用することで、データの先頭から順に4回のテストデータの取り出しを行い、各残りのデータでC=0.5として訓練したモデルで予測を行った。表8に示すCV結果より、テストデータの正解率平均=0.95となり、モデルの精度は良好であると判断した。

表8 CV結果

C	0.5			
テストデータindex	0~4	5~9	10~14	14~18
訓練正解率	1	1	1	1
テスト正解率	1	1	0.8	1
訓練正解率平均	1			
テスト正解率平均	0.95			

5.4 ランダムフォレスト分類の結果

(1) 分類の設定

分類の設定は、正則化ロジスティック回帰と同じ、テストデータ数は5個、閾値=10(万時間)とした。ランダムフォレストはデフォルト設定では毎回モデルが変わるので、パラメーターの最適化とCVを自動で行う、グリッドサーチCVを使用して4回計算を行った。

(2) 結果

表9のグリッドサーチCV結果を見ると、試行毎のパラメーター値は異なるが、正解率は訓練データで1、テストデータは3回目の値が低く、正解率平均は0.75であった。

表9 グリッドサーチCVの結果

テストデータ数	5個				平均
試行	1	2	3	4	
max_depth	4	8	4	4	
min_samples_leaf	1	1	1	1	
n_estimators	45	57	46	42	
訓練正解率	1	1	1	1	
テスト正解率	0.8	0.8	0.6	0.8	0.75

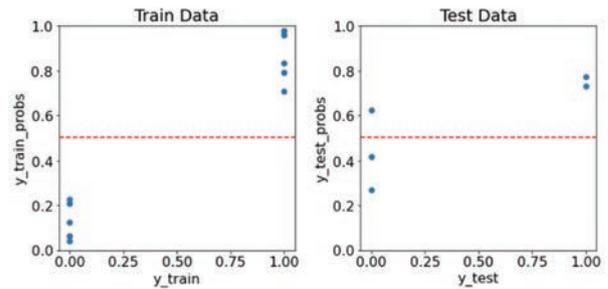


図5-1 目的変数とその予測確率

Train Data			Test Data				
		予測				予測	
		Negative	Positive			Negative	Positive
実測	Negative	6	0	実測	Negative	2	1
	Positive	0	8		Positive	0	2

図5-2 訓練及びテストデータの混同行列

図5-1、2は試行1回目の分類を表し、テストデータの1つが正解から外れていることが判る。

5.5 分類結果のまとめ

data2を使用し正則化ロジスティック回帰分類とランダムフォレスト分類を、テストデータ数5、寿命閾値=10(万時間)で行って、グリッドサーチとCVで最適化を行った正解率平均を表10に示す。これよりどちらの方法でも訓練データは完全に分類が行われているが、テストデータの分類率は正則化ロジスティック回帰が優れていた。

表10 正解率平均比較

分類方法	正則化 ロジスティック回帰	ランダム フォレスト
訓練正解率平均	1	1
テスト正解率平均	0.95	0.75

今回のdata2を用いて行った解析の範囲内で、正則化ロジスティック回帰であればHALT結果から供試品の寿命をほぼ正確に分類することができた。

今回の供試品では、モデル作成に多く使用した製品群に限れば、例えば新規採用する製品のスクリーニング用途を期待できると考えている。

6. おわりに

米国のメーカーで、本報告で示したような分類手法による製品のスクリーニングが行われているかは不明だが、寿命既知の製品があれば、HALT結果と製品仕様から製品寿命の分類が可能な事を示せたと考えている。

またモデル作成において、実測データ数が少ないため説明変数を増やして評価値を向上する方法を用いたが、過学習気味のモデルになっていることも懸念している。供試品としてDCファンを用いることを継続するのであれば、様々なメーカーの製品データを追加して汎用的な分類の可否を確認することも必要である。

機械学習の手法については、適正なモデルの選択と最適化、データ分布に応じた適正なモデルの選択などは検討が十分に行えていないので、今後も改善に取り組んで行きたい。

参考文献

- [1] Harry McLean, Mike Silverman, 「From HALT Results to an Accurate Field MTBF Estimate」, 2010 Annual Reliability and Maintainability Symposium(RAMS), 25-28 Jan. 2010.
- [2] 藤本 恵一, 「公開データ(電池寿命)を用いた機械学習による寿命評価の試み」, 信頼性セミナー、KEC関西電子工業振興センター、2023.
- [3] Kristen A. Severson etc「Data-driven prediction of battery cycle life before capacity degradation」, Nature

Energy volume4, pages 383-391(2019).

- [4] 藤本 恵一、前川 裕行、「HALTによるDC ブラシレスファンの比較評価と機能試験での機械学習活用」、日本信頼性学会第29回春季信頼性シンポジウム、2021.
- [5] Garron.K.Morris, Rockwell Automation, 「Taking the (Emotional)Stress Out of HALT」, 2017 Annual Reliability and Maintainability Symposium(RAMS), 23-26 Jan.2017.



藤本 恵一(ふじもと けいいち)

【経歴】

- 1985年 三洋電機株式会社 製品開発、品質評価などに従事。
- 2012年 パナソニック株式会社 信頼性及び安全性評価などに従事。
- 2018年 エスバック株式会社 信頼性試験技術の開発、構造及び流体解析などに従事し、現在に至る。

SEM-EDXスペクトラムイメージングデータの 主成分分析結果に対する考察

三菱電機モビリティ株式会社 姫路事業所
品質保証部 購入部品品質保証第二課
本谷 宗

SEM-EDX法は物理的な分析手法において、最も広く活用されている評価方法の一つである。ここでは『信頼性評価におけるソフトウェア技術の活用』のテーマに沿って、長期信頼性試験等で確認された不良品の故障部解析のSEM-EDXマッピング解析に主成分分析を適用した結果を報告する。スペクトラムイメージングデータの主成分分析を利用した解析結果では、EDXスペクトラムのピークフィッティング(ピーク分離)による解析でも検知できない極微量成分も検出されることがある。ここではこれらの結果の確からしさについての考察を進めることで、信頼性試験評価の現場における本手法の有用性について述べる。

1. はじめに

『信頼性評価におけるソフトウェア技術の活用』メインテーマに即し、ここでは信頼性試験後の故障解析などに、用いられる走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)に付属した元素分析手法、エネルギー分散型X線(Energy dispersive X-ray spectroscopy)の解析ソフトウェア『Pathfinder』^[1]のMountaineerグレード以上で使用可能な機能『COMPASS』を用いた構造解析の実例について紹介する。

COMPASSはEDXスペクトラムの多変量解析イメージ解析を行うものと紹介されており、ここでの多変量解析とは、主成分分析(Principal Component Analysis)を指している。

本解析手法の有用性は、SEM-EDX評価技術のハードウェアの進化によるところも大きい。大口径・ハイスループットのX線検出器の登場はデータ収集速度を飛躍的に向上させ、大量のデータを短時間で収集することを可能にしているし、ピクセル毎にスペクトラムを記録するデータフォーマット(スペクトラムイメージング)が主流になったのは、PCの処理能力の発展が寄与している。

このようなハードウェア/ソフトウェアの進化の相乗効果は、従来のSEM-EDXマッピング技術では達成しえなかった解析結果の創出を可能にしていると考えられる。

2. 信頼性評価におけるSEM-EDXの位置づけ

SEM-EDXは、それ自身が信頼性評価を担う技術でないが、製品や製品に組み込まれる様々な部品を対象とした耐久試験で顕在化した不具合(その種)の原因を、観察し、また、その場を構成する元素やその分布を『見える化』することで、耐久試験が引き起こした変化(腐食等の化合物反応)を知覚するために用いられる信頼性評価を支える技術と位置付けている。電子線を用いる制約から、真空環境下を必要とするが、それでも光学顕微鏡観察、赤外分光法と並ぶ汎用的な分析手法として知られている。

3. 『COMPASS』の概略

『COMPASS』^[1]は、Thermo Fisher Scientific社の解析ソフトウェアに組み込まれた機能の一つで多変量解析を行う。参考文献^[1]には、より詳細な資料が掲載され、また同じページにウェビナー動画も掲載されているので、ぜひ

参照にされたい。

ここでは、SCAN TECH 2018の応用講座として紹介された同社の報告「未知試料の分析に非常に役立つEDS多変量イメージ解析」^[2]をベースにCOMPASSを概説する。

COMPASSの特異な機能を理解する上で、スペクトラムイメージングデータの有用な解析処理であるピーク分離と対比する形で記述する。

ピーク分離は、個別のピクセルに格納されたスペクトラムを対象に行われる。個別のEDXスペクトラムは、SEMの電子線照射領域で励起された元素固有の特性X線ピークの集合として計測される。各特性X線ピーク強度比は、感度補正係数などを適切に扱うことで分析領域の組成比と相関したパラメータとなるため、解析上必要な情報である。

しかしながら、EDX分析の実用上、評価したい実験系の分析対象領域から得られる特性X線エネルギーが似通ったエネルギーを持った組み合わせであること(シリコン(Si)-タンタル(Ta)-タングステン(W)、ニッケル(Ni)-銅(Cu)、窒素(N)-チタン(Ti)など)は多くあり、このような実験系に対し、元素毎の特性X線強度を推し量る上で、スペクトラムイメージングデータのピーク分離解析処理は一定以上の要望があった。

図1には適当なガウス関数を重複させた模擬EDXスペクトラムを示す。この模擬スペクトラムはバックグラウンド信号、ピーク1成分、ピーク2成分およびノイズ信号からなる。恣意的な模擬スペクトラムではあるが、これを計測結果として、正確なピーク分離を達成するための要件を整理していく。

正確なピーク分離のためには、まず合成ピークを構成する成分(単一ピーク)が漏れなく既知であることが求められると考えられる。図1はピーク重心がわずかに右にずれたように描いているが、S/N比によってはこの解釈も難しい。バックグラウンド成分、ノイズ成分がそれぞれの程度の影響になっているかを把握する必要がある。次に合成ピークを構成するピーク位置が既知である必要がある。さらに厳密には、各分布関数型が既知であるべきで、EDXスペクトラムに対しては特性X線の発生確率(+検出効率)がその関数を与える。

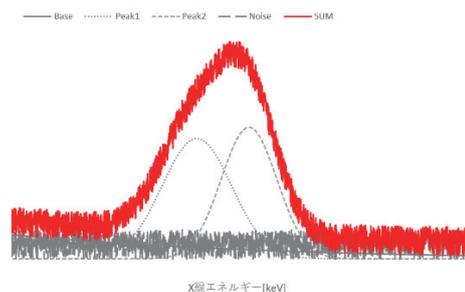


図1 ガウス関数を重複させた模擬EDXスペクトラム

このことから、元素ピーク分離には、

- *ピークの重なりの影響、試料全体から発生するバックグラウンドなどの影響を除去できること。
- *発生するすべての元素の特性X線(エネルギー値、感度係数)を明確に特定できること。

が求められている。

一方、COMPASSの手法には上記の制約がないとされ、以下の特徴を有する。

- *分析元素を事前に指定する必要がない。
- *ピークが重なる元素の影響を受けにくい。
- *単一成分ではなく主成分に分解する。

COMPASSの手法は、EDXスペクトラムイメージングデータ(の対称行列)を固有値分解し、固有ベクトルを使ってデータを再構築する。と説明される。実際には自然なEDXスペクトラムとして再構成できるように、様々な束縛条件が設定されている(図2)。

ここで、対称行列の固有値分解から得られた固有ベクトルは互いに直交するということから、複合的因子からなったものであっても独立成分であることが理解できる。

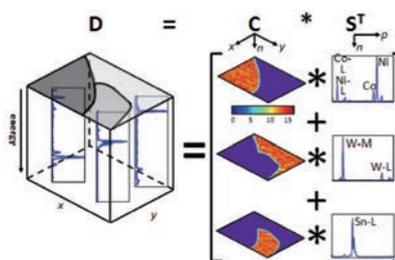
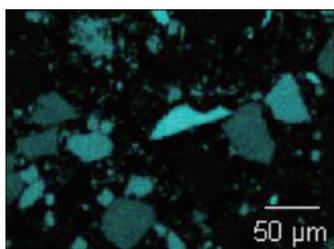


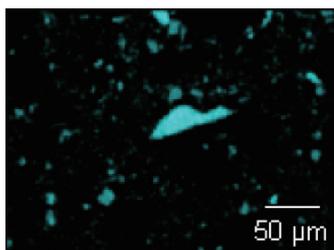
図2 COMPASSの概念図^[2]

以上の概略を用いて参考文献^[2]に紹介されているシリコン(Si)が含まれるEDXマッピング結果について、図3(a).従来型Siマッピング像、図3(b).元素ピーク分離Si

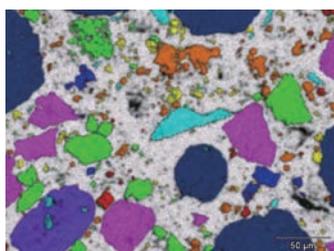
マッピング像および図3(c).Siが含まれたCOMPASS主成分マッピング像を示す。図3の解析結果はいずれも同じ試料から得られた画像であるが、含まれるSiのエリアに注目されたい。(a)従来型Siマッピング像には、濃淡はあるが広域にSiが分布している様子が得られている。一方で、(b)元素ピーク分離Siマッピング像では、Siのエリアが相対的に減少している。これは、ピーク分離によって、シリコン(Si)、タンタル(Ta)およびタングステン(W)の区別ができた効果の表れである。さらに描像は全く異なる(c)COMPASS主成分マッピング像では、Siとして同定されているエリアがさらに減少していることがわかる。これはCOMPASSの主成分分析が単体シリコン(Si)、酸化シリコン(SiO_2)および窒化シリコン(Si_3N_4)を区別しているためである。このように従来技術では分離しえなかった情報を解釈できるのがスペクトラムイメージングデータに対する主成分分析の効果と捉えられる。



(a). 従来型Siマッピング像



(b). 元素ピーク分離Siマッピング像



(c). Siが含まれたCOMPASS主成分マッピング像

図3 解析手法が異なるEDXマッピング像

4. COMPASSの適用事例

4.1. 積層構造物に対する適用

図4に、ある積層構造体の断面部を光学顕微鏡で観察した結果と、その左に本来あるべきだった構造を示す。光学顕微鏡像には積層構造全体を貫通するクラックの他、物質Bが物質C層、物質D層に侵入している様子、物質Dも物質C側に侵入している様子が確認される。これらは予想された構造ではないため、この構造がどのようにして発生したのかを確認するために、スペクトラムイメージング解析を実施した。その結果を図5に示す。

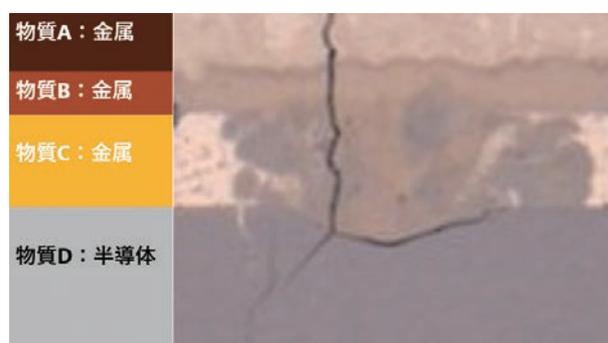


図4 積層構造に見られた異常部

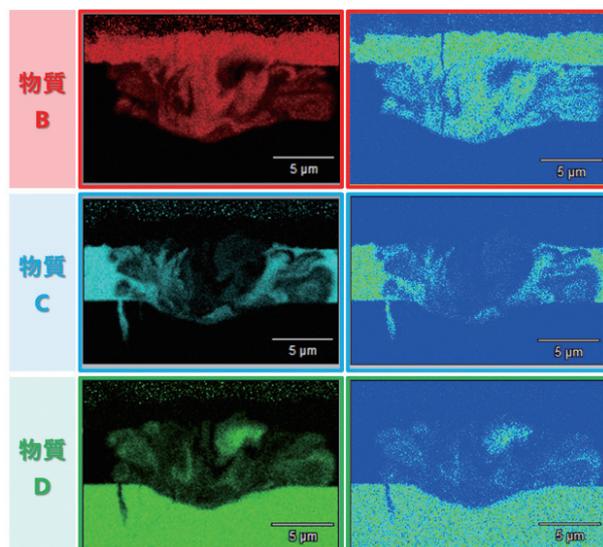


図5 スペクトラムイメージング解析結果

図5の左(黒背景)には元素ピーク分離マッピングの結果、右(青背景)には主成分マッピングの結果を示す。主成分の数は任意に設定可能であるがこの実験系において、第4主成分以降はノイズデータが得られた(実質的な情報が含まれていないと考えられる)ため、ここでは割愛する。

ピーク分離マッピングの結果には、各物質の層間において露わに重複した領域が確認されていないが、図3に示したようにピーク分離マッピングには、その元素が含まれてさえいれば信号を得られてしまうため、各マッピング結果が化合物であるか、単一物質であるかは解釈が難しい。他方、右の主成分マッピングを確認すると、おおよそ元素ピーク分離マッピングとほぼ同様の結果が得られていることが分かる。ここで、各固有ベクトルとして再構成されたEDXスペクトラムを確認する(図6)。

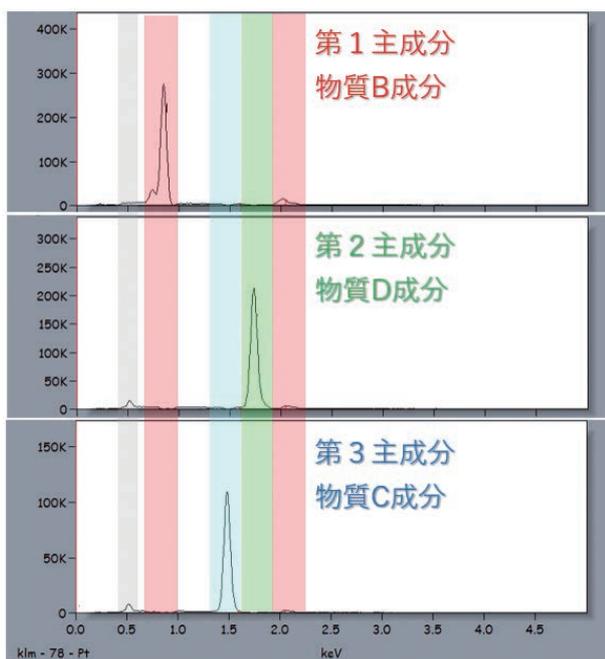


図6 主成分マッピングを構成する再構成スペクトラム

第1～第3主成分の再構成スペクトラムは、いずれも単一物質からなることが示されている。第4主成分以降の成分がノイズであったことも鑑みて、この評価エリアには、物質B～D間の合成成分(合金、化合物)などが存在しないことが示唆される。この評価エリア内に合成成分が分布していないことから、この断面内で元来確認されるはずだったC層成分が極めて少なく、その一方でB層を構成する成分が予想以上に多いことが伺える。

そのため、この異常個所には、形成初期の段階でC層成分に欠損があり、これを埋め込むようにB層成分が補填されたことが推定され、この故障モードの一因であろうことが予想された。

4.2. 半導体デバイス故障解析への適用

次に、図7にある半導体デバイスで確認された故障個所の光学顕微鏡観察像を示し、図8に当該故障個所の断面観察した結果を示す。

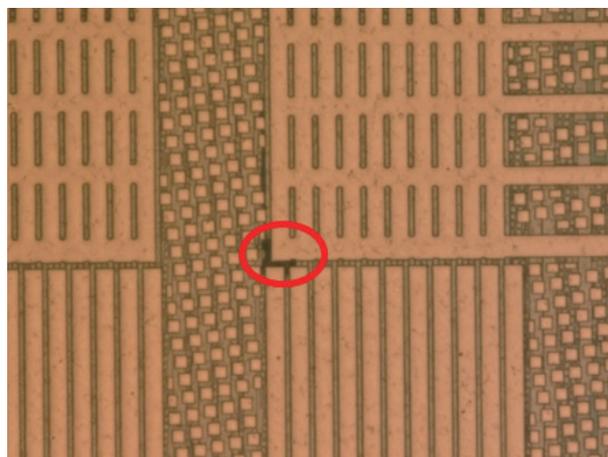


図7 故障個所の光学顕微鏡観察像

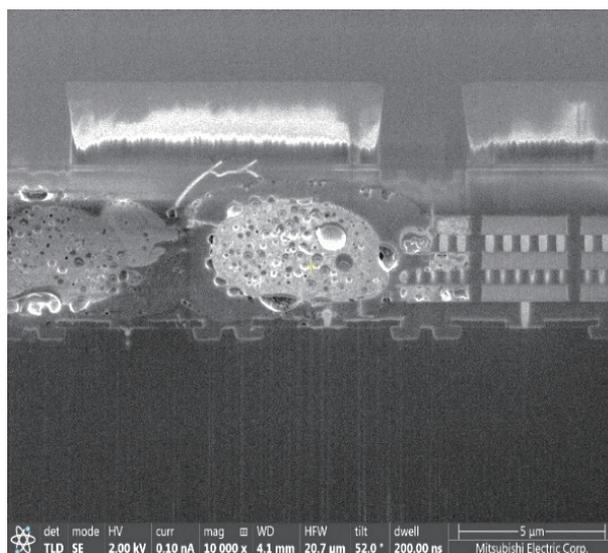


図8 故障個所の断面観察像

図8の断面観察像の下半分はSiからなる半導体層で、その上部に金属配線層が形成されている。ここで確認されている構造的異常は、中央の円状の模様から左にかけて、元来の配線構造が熔融損傷している様子が認められる。スケールバーから十数μm範囲を巻き込んで混ざりっていると解釈されるが、Si層への影響は軽微である。配線層を構成する配線金属や層間絶縁膜物質は様々であるが、それぞれ融点は異なる。ここではこの熔融損傷箇所が溶

融時どのくらいの温度まで上昇したかを推察することを目的に、スペクトラムイメージング解析を行った。

評価対象エリアは図8の溶融箇所を拡大して設定した。

図9に、この評価エリアを構成する上位成分の元素マッピング結果を示す。層間絶縁膜を構成するシリコン(Si)、金属電極であるアルミニウム(Al)、層間絶縁膜含有元素であり、また断面露出による酸化を反映する酸素(O)およびバリアメタルなどの用途で用いられるチタン(Ti)などが順当に検出されているが、これ以外の元素についての

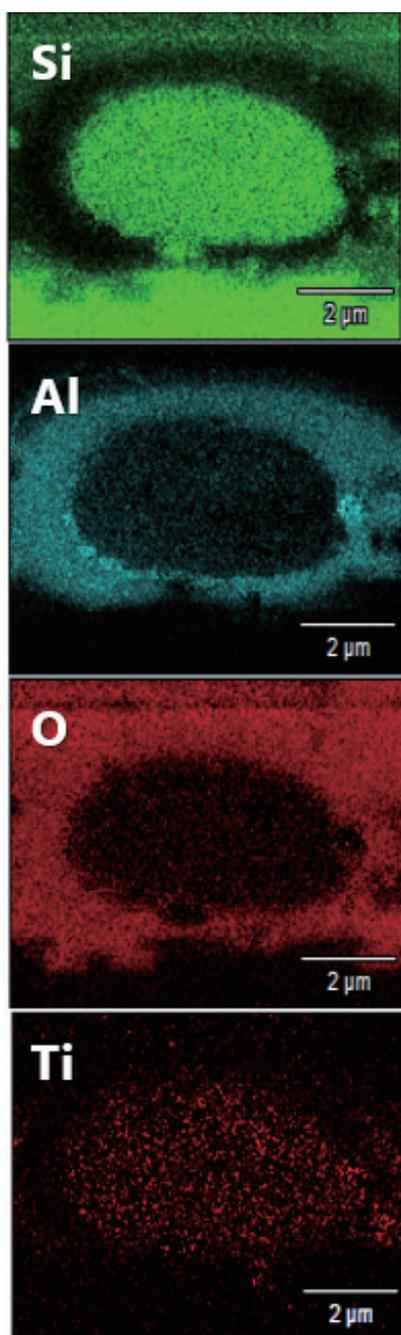


図9 元素マッピング結果

情報が見られていない。

金属電極の層間には、タングステンからなるピアと呼ばれる接続部があるが、この解析ではタングステンは認められていなかった。次に図10にCOMPASS主成分マッピング像と対応する再構成スペクトラムを示す。

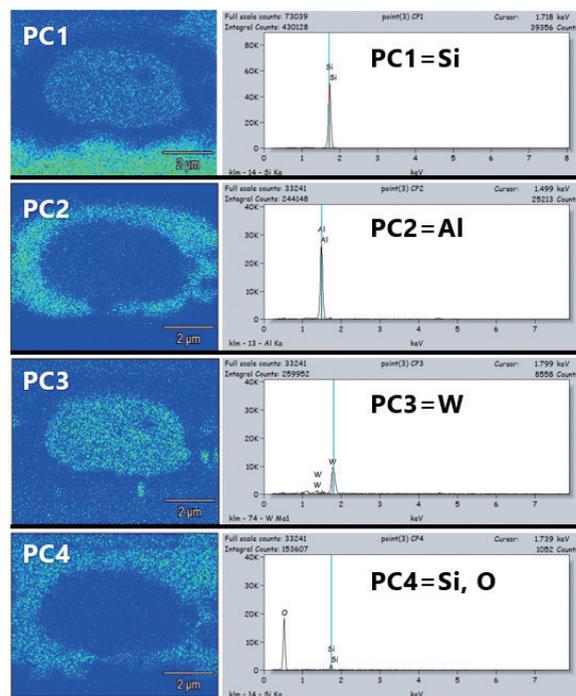


図10 主成分マッピング像と再構成スペクトル

図10の主成分は第4成分まで表示した。第2主成分までは元素マッピング結果と検出された順位に違いはないが、第3成分には違いが見られ、タングステン(W)の検出ができていることが分かる。元素マッピング結果では検出できなかったWは、評価エリアとして含まれている割合として小さいためであると考えられ、主成分マッピングでWが確認される理由は、固有ベクトルを求める解析ロジックに由来した特徴的な機能によるものと解釈される。PC3で検出されたW成分は評価エリアに含まれるWプラグ位置にも該当しており、適切な結果と考えている。

5. おわりに

ここでは、信頼性評価の後に行う現象究明に用いる分析手法として、汎用的なSEM-EDXマッピング技術の近代の進化を活用した事例を紹介し、その有用性について考察した。ハードウェアの進化とソフトウェアの進化が相

まって、これまでの発想とは異なる新たな解釈が可能になり、また検出感度があたかも向上している結果も得られたと認識している。これらの進化の本質を理解することによって、これまで各種化学結合状態評価(X線購電子分光法などによる)を行わなければならなかった実験系に対しても、その組成に関する情報を迅速に得られるようになり、我々が直面する技術課題の解決の糸口を探る活動の効率化が図れ、より信頼性が確保された部品の製品適用を加速することができると思う。

参考文献

- [1] Thermo Fisher Scientific社Pathfinder紹介HP
<https://www.thermofisher.com/jp/ja/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/microanalysis-electron-microscopy/pathfinder-x-ray-microanalysis-software.html>.
- [2] 鈴木 実、「未知試料の分析に非常に役立つEDS多変量イメージ解析」、SCAN TECH 2018.



本谷 宗(もとや つかさ)

【経歴】

- 2006年 三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 入社
2006～2018年
透過電子顕微鏡法および放射光関連分析技術を活用した半導体デバイス評価技術開発
- 2019年 三菱電機株式会社 姫路製作所
2019～2023年
走査電子顕微鏡法および統計学を活用した電子デバイスを対象とした品質評価技術開発
- 2024年 三菱電機モビリティ株式会社
購入部品(電気部品・電子部品)の品質保証業務に従事

ケーブル屈曲寿命の予測における 従来手法と機械学習との比較評価

株式会社島津製作所
総合デザインセンター
大橋 恒久

過去に本誌にて、ケーブルが断線するメカニズムに基づく屈曲寿命の予測手法を報告した^[1]。今回は、新たに考案した機械学習を利用した屈曲寿命の予測手法を解説し、従来の手法と予測精度を比較した結果を報告する。更に機械学習から屈曲寿命に影響するケーブルの仕様を明らかにし、従来の手法と整合することを示す。

1. はじめに

ケーブルは、多くの電子機器に使用される汎用的かつ重要な部材である。ケーブルを装置の可動部で使用する際、屈曲の繰り返しにより断線すると重大な事故につながる恐れがある。事故の未然防止のためには、試験により屈曲寿命を把握する必要があるが、それには時間を要する。

そのため短期間で屈曲寿命を把握するには、寿命を予測することが有効である。そこで本稿では、ケーブルが断線するメカニズムに基づく従来の予測手法^[1]と機械学習を利用する新たな予測手法を紹介する。

なお2項全体と3.1項は過去に本誌^[1]に掲載しており、一部を省略している。

2. ケーブル屈曲試験と断線メカニズム

2.1 ケーブルの内部構造

ケーブルの内部構造の一例を図1に示す。電気が流れる心線は、数本から数十本の素線(一般的に直径0.05～0.3 mm程度の錫めつき軟銅線)を撚り合わせて構成される。

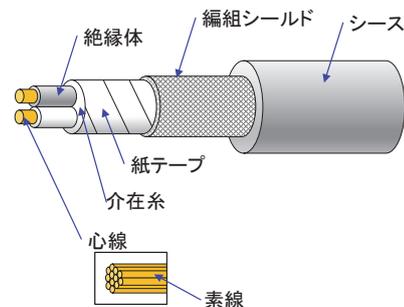


図1 ケーブルの内部構造の一例^[1]

心線は絶縁のために樹脂製の被覆で覆われ、その他多数の部材により構成される。

2.2 ケーブル屈曲試験

ケーブル屈曲試験の概略を図2に示す。2本のマンドレル(円柱)を平行に配置し、その間に荷重 W を取り付けたケーブルを通す。そして任意の角度(例えば水平180°)の往復運動を繰り返すことにより、マンドレルの半径 R でケーブルが屈曲する。

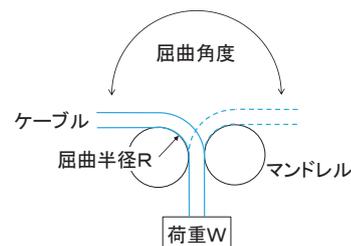


図2 ケーブル屈曲試験の概略^[1]

2.3 ケーブル断線のメカニズム

一般的に、断線したケーブルはシースに若干こすれた痕が付く程度で、目立った外観上の異常は見られない。そこでケーブルの断線した箇所をX線透視装置で観察すると、図3に示すように心線の中で素線が破断していることが確認できる。

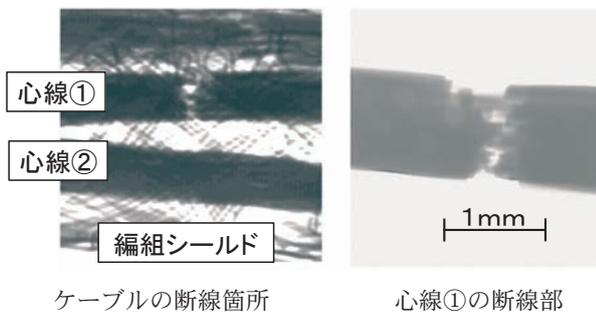


図3 断線箇所のX線透視像^[1]

素線の破断面を走査電子顕微鏡により観察した結果を図4に示す。素線の破断面は外径より若干細くなっており、外周部に疲労破壊を示すストライエーションが見られ、中心部に延性破壊を示すディンプルが見られる。

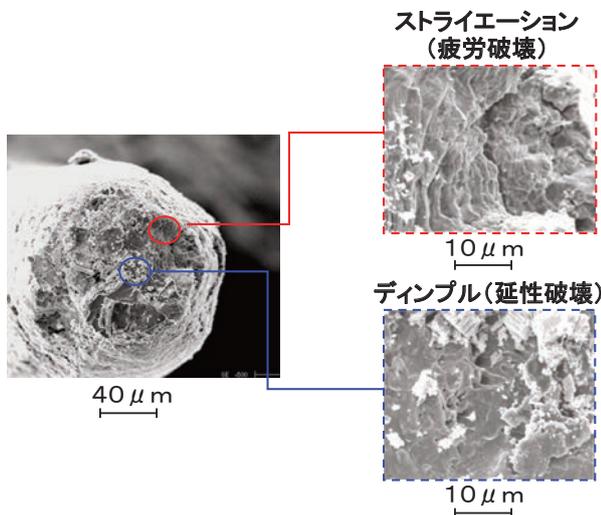


図4 素線の破断面の走査電子顕微鏡像^[1]

以上より、ケーブルが屈曲を繰り返すと素線の疲労破壊が進み、素線が細くなって荷重に耐えきれなくなり、延性破壊して素線が破断すると考えられる。そして素線の破断が進行し、1本の心線の中で最後の1本の素線が破断して心線が断線し、その時点での屈曲回数がケーブルの屈曲寿命となる。

またケーブル屈曲試験でケーブルが断線する場合は、概ね10万回以下の屈曲回数で断線することが多い。

3. 寿命予測手法

3.1 従来の手法

前述したように素線は疲労破壊を起こしており、屈曲寿命が概ね10万回以下であることから、低サイクル疲労による破断であると考えられる。そこで、屈曲寿命の予測に低サイクル疲労で成立するコフィン・マンソンの法則を適用する。コフィン・マンソンの式を式1に示す。

$$N_f = A \times \varepsilon^B \quad (1)$$

- ・ N_f : 寿命
- ・ ε : 歪み
- ・ A, B : 定数

ケーブルが屈曲する際に素線に生じる歪みは、式2に示すように曲げ歪みと引っ張り歪みの和となる。

$$\varepsilon = \varepsilon_R + \varepsilon_W \quad (2)$$

- ・ ε_R : 素線の曲げ歪み
- ・ ε_W : 素線の引っ張り歪み

ケーブルは、複数の素線を撚り合わせた心線の他に、樹脂製の絶縁体やシース等と構成されている。そのため歪みを考慮するコフィン・マンソンの法則を適用する系としては、かなり複雑である。そのため素線に負荷される力の大きさと、その力が試験中に常に一定か不明であるため、簡略化したモデルを考え、歪みの計算式を式3、式4とする。

$$\varepsilon_R = \frac{d}{2 \times (R + R')} \quad (3)$$

$$\varepsilon_W = \frac{W \times g \times C}{K \times (d/2)^2 \times \pi} \quad (4)$$

- ・ d : 素線の直径[m]
- ・ R : 屈曲半径[m]
- ・ R' : シースなどの厚さ[m]

- ・ W : 荷重[kg]
- ・ g : 重力加速度 9.8[m/s²]
- ・ C : 断面積の比率(心線1本/ケーブル全体)
- ・ K : 素線の伸び係数 1.5×10^{10} [N/m²]

任意の試験条件におけるケーブルの屈曲寿命を予測するには、まず複数の条件で屈曲試験を行い、屈曲寿命と歪み(式2～4より算出)のデータセットを作成する。次に式1で回帰分析を行うにあたり、式1のようなべき乗の式で非線形の回帰分析を行うのではなく、データを対数変換して式5に示すように線形単回帰分析を行う。

$$\log(N_f) = a + b \cdot \log(\varepsilon) \quad (5)$$

- ・ 目的変数… 屈曲寿命の対数 $\log(N_f)$
- ・ 説明変数… 歪みの対数 $\log(\varepsilon)$

式5で線形単回帰分析を行うと、定数項 a と回帰係数 b が算出される。そして屈曲寿命の真数をとると式6となり、式1に示したコフィン・マンソンの式と同じ形となる。

$$N_f = 10^a \cdot \varepsilon^b \quad (6)$$

任意の試験条件とケーブルの仕様から歪みを計算して式6に代入すると、その条件での屈曲寿命を予測できる。

3.2 機械学習による手法

機械学習とは既知のデータを使用してモデルを作成し、未知のデータ(今回は屈曲寿命)を計算で明らかにする手法の一つである。つまり、ケーブルが断線するメカニズムは考慮しない。またビッグデータを使うことが機械学習ではないため、データの数は問わないこととする。

今回は、機械学習の手法として重回帰分析を使用する。なお、この手法は特許を出願している。^[2]

機械学習により屈曲寿命の予測をするには、まず従来の手法と同様に複数の条件で屈曲試験を実施し、屈曲寿命と屈曲半径と荷重のデータセットを作成する。

次にデータセットに対して重回帰分析を行う。最も単純な重回帰分析を式7に示す。詳細は割愛するが、式7を

使用すると予測値が実測値とかけ離れて、実用的な寿命予測を行うことができない。

$$N_f = a + b \cdot R + c \cdot W \quad (7)$$

- ・ 目的変数… 屈曲寿命 N_f
- ・ 説明変数… 屈曲半径 R , 荷重 W

そこで従来の手法と同様にデータを対数変換すると、式8となる。

$$\log(N_f) = a + b \cdot \log(R) + c \cdot \log(W) \quad (8)$$

- ・ 目的変数… 屈曲寿命の対数 $\log(N_f)$
- ・ 説明変数… 屈曲半径の対数 $\log(R)$, 荷重の対数 $\log(W)$

式8対して重回帰分析を行い、定数項 a 、偏回帰係数 b 、 c を求めて屈曲寿命の真数をとると、式9となる。

$$N_f = 10^{a+b \cdot \log(R)+c \cdot \log(W)} = 10^a \cdot R^b \cdot W^c \quad (9)$$

式9に任意の屈曲半径 R と荷重 W を代入すると、その条件での屈曲寿命を予測することができる。ケーブルの断線メカニズムを解析することから始める従来の手法と比較すると、たいへんシンプルである。

4. 実施例と予測精度の比較

4.1 供試品と試験条件

4種類のケーブルで予測精度を比較する。供試品の仕様を表1に示す。また各ケーブルの試験条件とデータ数を表2に示す。

表1 供試品の仕様

ケーブル	A	B	C	D
心数	2心	4心	単心	3心
心線の太さ	AWG18	AWG24	AWG16	AWG22
素線の直径 [mm]	0.18	0.203	0.26	0.16
素線の本数 [本]	34	7	26	17
ケーブルの 直径[mm]	6.8	4.7	3.2	5.7

表2 試験条件とデータ数

ケーブル	A	B	C	D
屈曲半径R [mm]	5~20	5~30	5~30	5~30
荷重W [kg]	0.6~3.4	0.6~3.5	0.6~3.5	0.6~3.5
データ数	12	32	34	32

各ケーブルで共通する試験条件などを以下に示す。

- ・ 屈曲角度：水平180°
- ・ 屈曲速度：2秒/往復
- ・ 試験本数：各RとWの条件で3本
- ・ 屈曲寿命：3本の平均値

4.2 予測精度の評価データと評価指標

試験結果から屈曲寿命を予測して、実測値に対する予測精度を評価する。そのためのデータは、ホールドアウト法に従い分割する。データを屈曲寿命の短い順に並べて奇数番目のデータを学習データとして回帰分析を行い、予測式を導出する。そして偶数番目のデータをテストデータとして、屈曲寿命を予測して精度を評価する。これにより、未知の試験条件での屈曲寿命の予測精度を適切に評価することができる。

評価指標は式10に示す二乗平均平方根誤差(Root Mean Squared Error:RMSE)と式11に示す平均絶対誤差率(Mean Absolute Percentage Error:MAPE)とする。

今回は残差平方和を最小とする回帰分析を行うため、RMSEでその効果を確認できる。また実施例では屈曲寿命が数百回から数万回までの桁数が異なるデータとなるため、平均的な誤差よりも誤差の比率で評価した方が妥当である。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{\text{データ数}} \sum (\text{実測値} - \text{予測値})^2} \quad (10)$$

$$MAPE = \frac{100}{\text{データ数}} \sum \left| \frac{\text{実測値} - \text{予測値}}{\text{実測値}} \right| \quad (11)$$

4.3 試験結果

代表してケーブルAの試験結果を図5に示す。曲率半径5mmで荷重が0.6~1.5kgと軽い場合(図中の×印)は、ケーブルがマンドレルに沿わずに大きな曲率半径で屈曲した。このような場合は、試験結果のデータを解析に使用しないこととした。

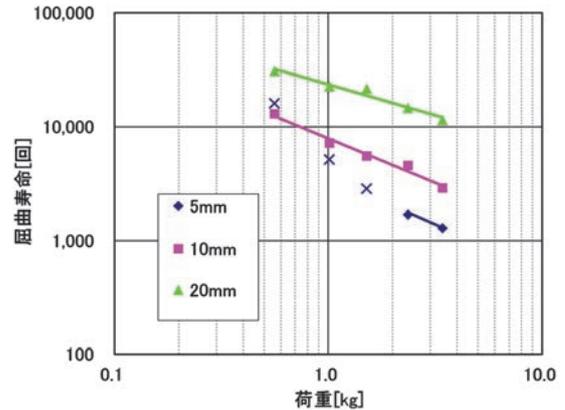


図5 試験結果(ケーブルA)

4.4 学習データの回帰分析

学習データの回帰分析を実施した結果を表3、表4に示す。ここでは式5の定数a、b、式8の定数a、b、cと共に決定係数R²を示している。R²はケーブルAでは同じ程度で、ケーブルBからDでは機械学習のほうが良い結果となった。

ただし、このR²は式5、式8のように対数変換した式で求めたものであり、屈曲寿命の予測における直接的な評価指標とはならない。そのため予測精度の評価には前述のRMSEとMAPEを使用する。

表3 回帰分析の結果(従来技術)

ケーブル	A	B	C	D
定数a	-1.46	-4.91	-4.62	-3.89
定数b	-2.50	-3.91	-4.39	-3.53
R ²	0.987	0.930	0.898	0.833

表4 回帰分析の結果(機械学習)

ケーブル	A	B	C	D
定数a	2.24	0.64	1.13	1.55
定数b	1.62	2.82	2.66	2.35
定数c	-0.60	-1.01	-1.88	-1.32
R ²	0.989	0.959	0.962	0.937

4.5 予測精度の比較

ケーブルごとに予測精度を比較評価した結果をまとめる。図6～9に実測値と予測値をプロットした結果を示す。どちらの手法も図中で実測値と予測値が一致する赤線の付近にほとんどのデータが分布しているが、機械学習のほうが赤線の近くにデータが集まっている。表5～8に示す評価指標の中で、最も重要なテストデータのMAPEを比較すると、いずれも機械学習のMAPEが小さく、予測精度が良いことがわかる。

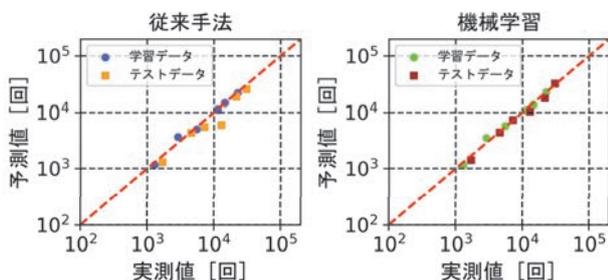


図6 寿命予測結果の比較(ケーブルA)

表5 評価指標の比較(ケーブルA)

	従来手法		機械学習	
	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
学習データ	502	8.4	533	8.2
テストデータ	3,842	22.6	1,992	10.6

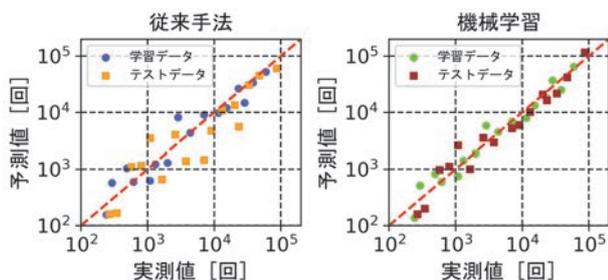


図7 寿命予測結果の比較(ケーブルB)

表6 評価指標の比較(ケーブルB)

	従来手法		機械学習	
	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
学習データ	4,467	41.5	4,458	29.9
テストデータ	8,580	57.6	8,153	38.6

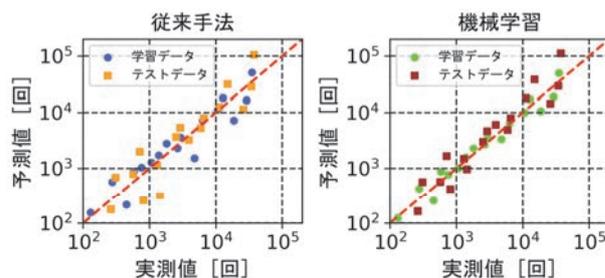


図8 寿命予測結果の比較(ケーブルC)

表7 評価指標の比較(ケーブルC)

	従来手法		機械学習	
	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
学習データ	5,842	39.8	4,887	24.6
テストデータ	17,359	64.0	19,214	58.3

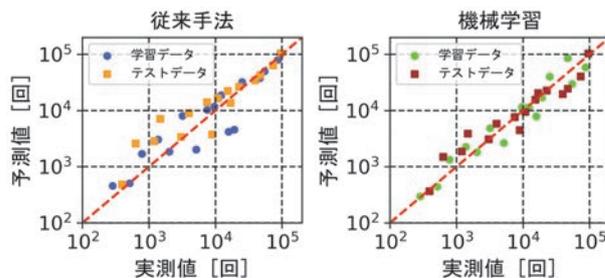


図9 寿命予測結果の比較(ケーブルD)

表8 評価指標の比較(ケーブルD)

	従来手法		機械学習	
	RMSE	MAPE	RMSE	MAPE
学習データ	6,256	52.9	14,221	36.0
テストデータ	5,339	81.3	11,487	40.4

従来手法の予測精度が機械学習よりも悪いのは、複雑な構成のケーブルで、素線の破断から断線に至る複雑な現象を簡略化したモデルで表したことが影響していると考えられる。そのため、より詳細なモデルを構築することができれば、予測精度が向上する可能性がある。

5. 屈曲寿命に寄与するケーブルの仕様の解析

前項では個別のケーブルに対する屈曲寿命の予測について述べた。本項ではケーブルの屈曲寿命に寄与する仕様を機械学習により解析した結果を示す。

5.1 評価データ

前掲のケーブルAからDの全110件の試験データとケーブルの仕様をまとめて重回帰分析を行う。ケーブルの仕様は、以下の6種類がある。心線の直径は、素線の直径に素線の本数の平方根を乗算して近似する。

- ① 素線の直径…0.16～0.26 mm
- ② 素線の本数…7～34本
- ③ 心数…1～4
- ④ シース等の厚さ…1～1.8 mm
- ⑤ ケーブルの直径…3.2～6.8 mm
- ⑥ 心線の直径…0.54～1.33 mm

ケーブルの仕様ごとに数値の大きさが異なるため、このまま重回帰分析を行って偏回帰係数を求めても屈曲寿命への影響度合いを比較できない。そこで6個の仕様をそれぞれ平均値0、標準偏差1のデータ群に標準化する。

5.2 重回帰分析

重回帰分析の式を式12に示す。式8に対して標準化した6個のケーブルの仕様を説明変数に追加した式となる。

$$\log(N_f) = a + b \cdot \log(R) + c \cdot \log(W) + \sum_{i=1}^6 d_i \cdot X_i \quad (12)$$

- ・ 目的変数…屈曲寿命の対数 $\log(N_f)$
- ・ 説明変数…屈曲半径の対数 $\log(R)$,
荷重の対数 $\log(W)$,
標準化した仕様 $X_1 \sim X_6$

ここで変数減少法により解析を行う。まず式12で重回帰分析を行い、各説明変数のP値を求める。P値が大きな説明変数は屈曲寿命とは無関係であり、他の説明変数にも悪影響がある。そのため、該当する説明変数を削除して、再び重回帰分析を行う、という解析を全ての説明変数のP値が十分に小さくなるまで繰り返す。

1回目の重回帰分析では、ケーブルの直径と心線の直径のP値が大きくなった。そのため、これらを削除して2回目の重回帰分析を実施すると、心数とシース等の厚さのP

値が大きくなった。そのため、これらを削除して3回目の重回帰分析を行うと全ての説明変数で $P < 0.00$ と十分に小さくなった。

ケーブルの仕様の中で残った説明変数が、素線の直径と素線の本数となった。これらの偏回帰係数が、それぞれ-0.153と0.096となった。素線の直径の偏回帰係数の絶対値が大きいため、ケーブルの仕様の中で素線の直径が屈曲寿命への寄与が最も大きいと言える。また負の数であるため、素線が細いほど屈曲寿命が長くなることを意味する。従来手法では、素線が細くなると曲げ歪みが小さくなり、屈曲寿命が長くなる。

もう一方の素線の本数は正の数であり、素線の本数が増えるほど寿命が長くなる。従来手法では、素線の本数が増えると負荷が分散して引っ張り歪みが小さくなり、屈曲寿命が長くなる。以上のように、機械学習での解析結果は、断線メカニズムに基づく従来手法と整合する。

以上の重回帰分析の結果をまとめると、式13となる。屈曲寿命を屈曲半径、荷重、素線の直径および本数から算出できるため、様々な仕様のケーブルの屈曲寿命を予測することができる。

$$N_f = R^b \cdot W^c \cdot 10^{a-0.153 \cdot D_{st} + 0.096 \cdot N_{st}} \quad (13)$$

- ・ D_{st} …標準化した素線の直径
- ・ N_{st} …標準化した素線の本数

屈曲寿命の予測結果を図10に示す。予測値は実測値に近い分布となり、MAPEは39%となる。

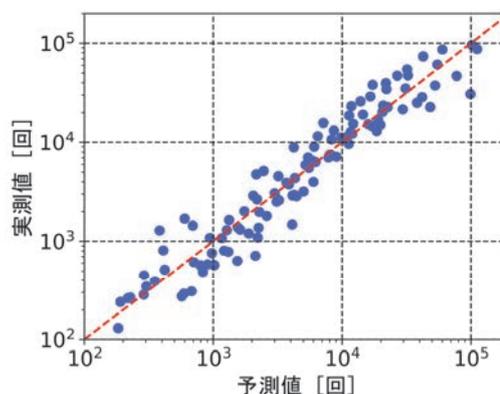


図10 寿命予測結果

6. おわりに

データのみを使用した機械学習のほうが、複雑な現象を簡略化した従来の手法よりも屈曲寿命の予測精度が良いことを示した。また機械学習により屈曲寿命に寄与するケーブルの仕様を解析した結果が、断線メカニズムに基づく従来の手法と整合することは興味深い。

ケーブル屈曲寿命の予測は、ケーブルのみならず可動部でケーブルを使用する電子機器の信頼性の向上に資するものである。ただし現状では誤差率MAPEが最大で60%ほどあるため、回帰手法の改善などにより予測精度を向上させると、更なる活用が期待される。

参考文献

- [1] 大橋恒久、「ケーブル屈曲寿命予測試験の実施例」、KEC情報 246号、pp.29-33、一般社団法人 KEC関西電子工業振興センター、2018.
- [2] 特願2023-064777.



大橋 恒久（おおはし つねひさ）

【経歴】

2003年 株式会社島津製作所 入社

2003年～2011年

航空機用電子機器の開発に従事

2011年～現在

信頼性の評価に関する業務に従事

プリント配線板における 部分放電開始電圧予測検討(～5MHz)

オムロン株式会社

グローバル購買・品質・物流本部 品質技術室 工程品質技術部

技術士(金属部門) 博田 知之

近年の電力変換器の高周波化や高電力化に伴い、多層のプリント配線板における絶縁破壊リスクが増大している。リスクに対応するため、部分放電現象、特に高周波領域(MHz帯含む)の予測技術の検討を行った。電界CAE解析と放電理論による部分放電開始電圧と放電部位の明確化および実測評価により、高周波領域での部分放電開始電圧が、周波数依存の補正係数追加で導出可能であることを示した。なお、本文の内容はOMRON TECHNICS Vol.55.(2023発行)^[1]に掲載した内容を一部追記、再構成したものである。

1. はじめに

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、脱炭素社会への取り組みが進行しつつある。電力変換器においては、高効率化が求められるとともに、再生可能エネルギー導入に向けた分散化等を実現する小型化(高電力密度化)が強く求められている^[2]。

そのため、高周波化やプリント配線板の多層化による電力変換器の高電力密度化が検討されているが、「サージの増大」「絶縁厚み低下」を生じさせ、その結果、部分放電が発生しやすくなっている。部分放電とは「導体間の絶縁を部分的にのみ橋絡する放電」である^[3]。部分放電のエネルギーは低く、わずかに絶縁層を劣化させる程度であるため、通常問題にならない。しかし、電力変換器が高周波化すると、部分放電による絶縁層劣化は加速されると考えられるため、絶縁破壊のリスクは高くなる(図1)。

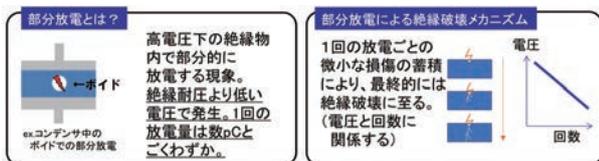


図1 部分放電と絶縁破壊

一方で、プリント配線板の多層化により、放電箇所の推定が難しくなるため、絶縁破壊のリスクがより高まっている。さらに、電圧印加の周波数により放電開始電圧は変動すると言われており^[4]高周波化により部分放電が生じやすくなるリスクも考えられる。

そこで、低周波域における3次元電界CAE解析による放電部位および部分放電開始電圧を推定した上で、部分放電開始電圧周波数依存性の実測評価を行い、高周波域における部分放電開始電圧の予測技術を検討した。

2. 理論背景

2.1 プリント配線板における分圧と放電部分

多層のプリント配線板における部分放電の例を図2に示す。多層のプリント配線板では、銅パターン横にある空気部分と絶縁層のキャパシタンスが直列に配置されるため、分圧により空気部分の電位差が大きくなる。また、放電は気体部分で発生するため、電位差が大きい気体部分で放電しやすいと想定できる。なお、部分放電開始電圧は、放電開始時における高圧電源の電圧値とする。

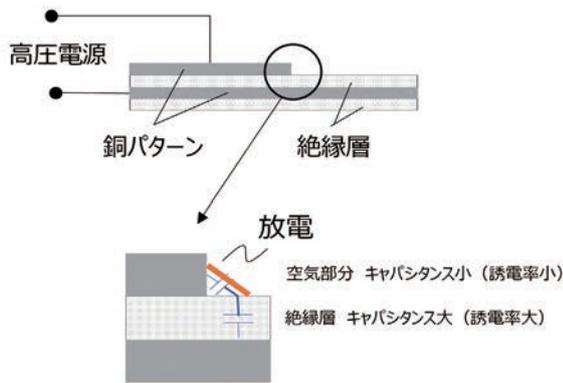


図2 プリント配線板(断面)の部分放電

2.2 放電発生条件(パッシェンの法則)

放電発生条件はパッシェンの法則(図3)に従う^{[5][6]}。パッシェンの法則は、放電開始電圧が気体圧力(p)×電圧がかかる電極間距離(d)の関数となることを示したものである。気体種類により曲線は変化するが、図3では空気の場合を示した。図3より、最も放電しやすい条件があることがわかる。気体が空気で常温(25℃)かつ1気圧(1013.25hPa)の場合、電極間距離約8μmが最も放電しやすい条件であり、328V付近が放電開始電圧となる。また、気体の状態方程式からわかるように、横軸のpd(気体分子の密度)は周囲温度の影響も受けるため注意を要する。

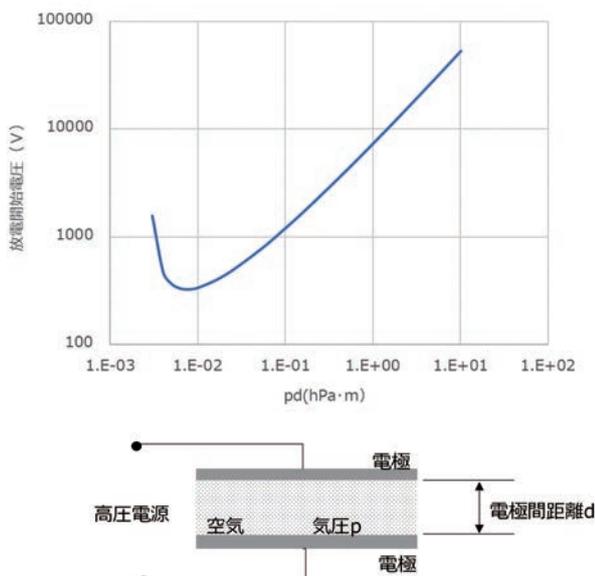


図3 パッシェンの法則

また、高周波域においては、放電開始電圧はpdに加え、印加電圧の周波数(f)×電極間距離(d)の関数になるとされている^[7]。プリント配線板においては、高周波域にお

ける放電電圧変化が不明なため、実測に基づく実験理論式を求めることとした。

以上のように、プリント配線板における空気部分の電界分布を評価することができれば、印加電圧周波数を含めたパッシェンの法則の放電条件(放電開始電圧とpd)を用いて部分放電開始電圧を見積もることが可能になる。(なお、電界分布は、後述のように電界CAEで評価することが可能である。)さらに、プリント配線板における放電開始電圧の周波数特性を取得することにより、高周波領域まで部分放電開始電圧を予測することができるようになると考えた。

3. 電界CAE解析と放電理論による部分放電検討

3.1 CAE検討モデル

図4のように多層のプリント配線板を模擬したCAE用検討モデルを作成した。一般的なプリント配線板を想定し、L1およびL2層はCuであり、厚み18μmとした。絶縁層も、一般的なプリント配線板(FR4 プリプレグ厚み)に基づき、0.076mm、0.1mm、0.15mm、0.3mmとした。また、使用した材料定数を表1に示す。FR4の比誘電率や誘電正接はMHz帯までほぼ変化しないため、一定の値を使用した。なお、プリント配線板のエッチング精度などを考慮し、L1層角部をC0.1とした。

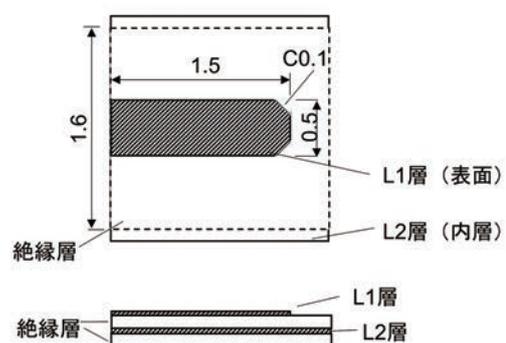


図4 CAE用検討モデル

表1 CAEモデル用材料定数

層	材料	材料定数		
		導電率 (S/m)	比誘電率	誘電正接
L1/L2層	Cu	5.98E7	-	-
絶縁層	FR4	-	4.25	0.01

3.2 電界CAE解析条件

電界CAE解析にはFEMTET(ムラタソフトウェア株式会社)を使用した。また、図5のように、L1、L2層間に交流電圧を印加する解析を行った。将来的にパワーエレ機器で想定される高周波領域として5MHzと現状のAC60Hzおよびその中間ほどである300kHzの周波数を設定した。

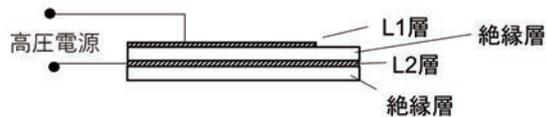


図5 電圧印加箇所

3.3 電界CAE解析における部分放電判定方法

印加電圧AC1kV_{0-p}かつ周波数60Hzにおける電界CAE解析結果(電界コンター図 絶縁層表面)を図6に示す。図6より、L1層C面エッジ部において電界が集中していることがわかる。理論より、部分放電はL1層と絶縁層間にある空気層で発生することが予想される。

電界CAE解析における部分放電開始電圧の導出は、パッシェンの法則で最も放電しやすい条件を元に次のようにした。ある印加電圧下における電界CAE結果から、L1層と絶縁層間の空間距離8 μ mかつ最も電位差の大きい場所(図5の電界集中箇所)を見出し、電界集中箇所の電位差が328Vとなるよう印加電圧を変化させる。その際の印加電圧を部分放電開始電圧とした。また、電力制御機器の規格から、高地(海拔 3000m)かつ高温になる電子部品近傍の温度(135 $^{\circ}$ C)を想定した。この場合、簡易的に空気密度比で25 $^{\circ}$ Cに換算すると気圧518.60hPaと計算される。以上をパッシェンの法則で換算すると、空間距離15.6 μ mかつ328Vが放電条件となる。

なお、この電界CAE解析では、パッシェンの法則における周波数特性影響は加味していない。

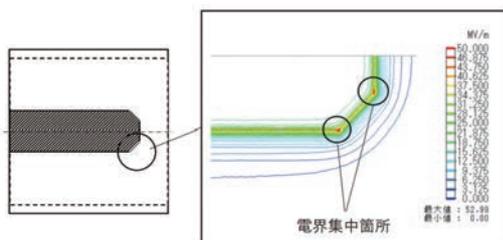


図6 電界CAE解析結果(コンター図)

3.4 解析結果

図7に電界CAE解析結果を示す。なお部分放電開始電圧は電圧ピーク値(V_{0-p})で記載した。結果より、縁層厚みの増加により部分放電電圧が高くなっていることがわかる。518.60hPaの条件においては、常温常圧(1013.25hPa)時に比して30%近く部分放電開始電圧が低下している。

これは、気圧が1013.25hPaから518.60hPaになると、放電開始電圧が最低値となる空間距離は、8 μ mから15.6 μ mと長くなるためである。空間距離が長くなると、(同じ電界分布の場合)電位差が大きくなるため放電しやすくなる。本結果より、高地・高温環境における電力変換器の絶縁設計は注意を要することがわかる。

なお、今回検討した周波数域においては、電界分布はほとんど変化しなかった。そのため、本電界CAE解析では部分放電開始電圧に周波数依存性がなかった。

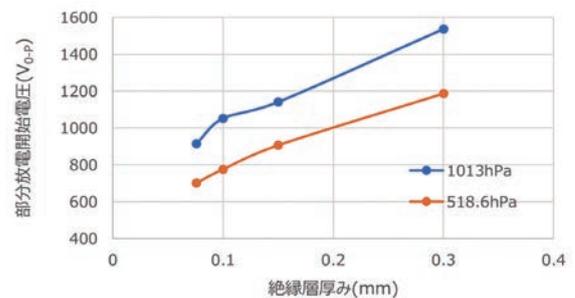


図7 電界CAE解析検討結果

4. 部分放電開始電圧の周波数影響実験

4.1 実験サンプルと実験条件

プリント配線板の部分放電開始電圧を実測することで周波数影響の検討を行った。図8および表2に示すように絶縁層の厚みを変化させた多層プリント配線板を準備した。寸法や材料特性は電界CAEと合わせた。なお、絶縁層は誘電率が規定されているFR4を用いた。

またL1層とL2層間に20kHz、300kHz、1MHz、2MHz、5MHz交流電圧を印加し、実験を行った。

さらに、135 $^{\circ}$ Cかつ標高3000mを気圧換算し、常温常圧と比較を行った。具体的には周囲温度25 $^{\circ}$ C前後で気圧518.60hPaもしくは1013.25hPaに調整し実験を行った。

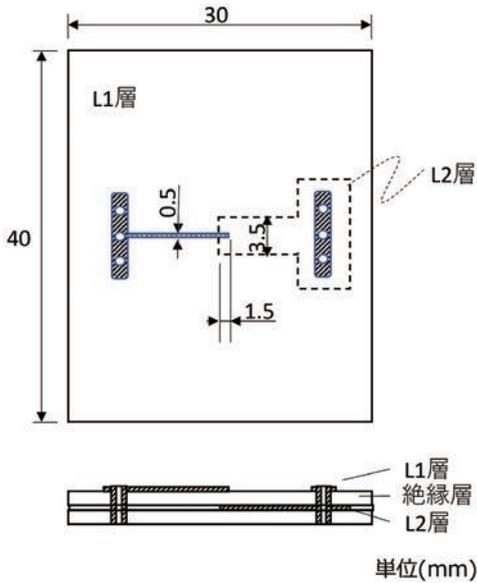


図8 実験サンプル形状

表2 実験サンプル層構成および材料

層	材料	厚み (mm)
L1/L2層	Cu	0.035
絶縁層	FR4 (比誘電率4.2~4.4)	0.076 0.1 0.15 0.3

4.2 部分放電評価システム

図9のようなシステムを用い、シールドルーム内でサンプルに交流電圧を印加して部分放電の評価を行った。なお、アンプの周波数制限から20kHz~500kHzと1MHz~5MHzの構成は異なる。使用した装置は表3に示す。

また、部分放電の計測には、自作の高周波用CTを使用し、放電で発生する高周波電流を取得した。さらに、気密ボックスを使用し、気圧調整をして実験を行った。

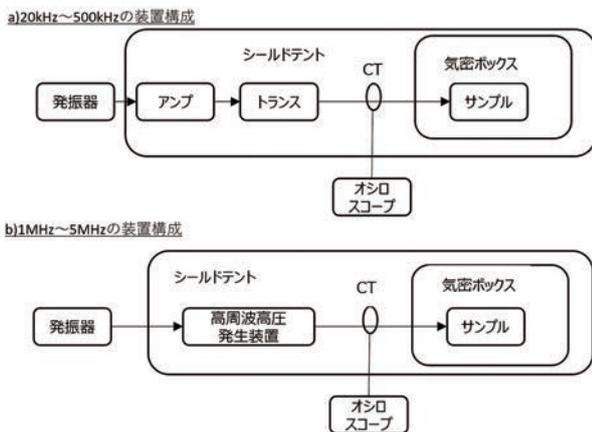


図9 部分放電評価システム

表3 評価装置

装置	メーカー・型式
発振器	(株) テクトロニクス AFG1022
高周波アンプ	(株) エヌエフ回路設計ブロック HSA4052
トランス	20kHz用 300~500kHz用 2種類 (自作)
オシロスコープ	(株) テクトロニクス MSO44-3-BW-500
高周波高圧発生装置	カスタム品

4.3 部分放電評価方法

部分放電発生有無のCT(カレントトランス)による電流波形を図10に示す。図10より部分放電が発生した際、ノイズのような波形が出るのがわかる。この波形が発生した際の印加電圧を部分放電開始電圧とした。なお、本実験において、電圧印加時間は、部分放電発生を判断するのに十分な時間である10秒とした。10秒の間に、部分放電発生がない場合は、印加電圧を20V上げ再測定し部分放電が発生するまで繰り返した。

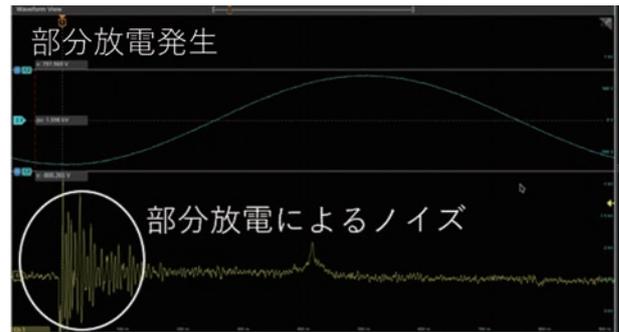


図10 部分放電波形

5. 部分放電開始電圧の周波数影響実験結果

5.1 部分放電開始電圧の気圧および周波数依存性

印加周波数と絶縁層厚みを変えた際の実験結果を図11および図12に示す。なお、図11と図12は気圧条件を変えたものである。

図11と図12の比較から、気圧が下がる(高所かつ高温)と、周波数に関わらず部分放電開始電圧が一律に20%程度低下していることがわかった。これは、パッシェンの法則において、放電開始電圧に対する気圧影響と周波数影響には交互作用が少ないためと推測する。

さらに、絶縁層厚みや気圧に関わらず、周波数の増加に伴い線形的に部分放電開始電圧が低下する傾向にある。(低下割合は100kHz毎に0.7%程度)これは、パッシェンの

法則の周波数依存性と考えられるため、放電開始電圧の補正係数として採用する。

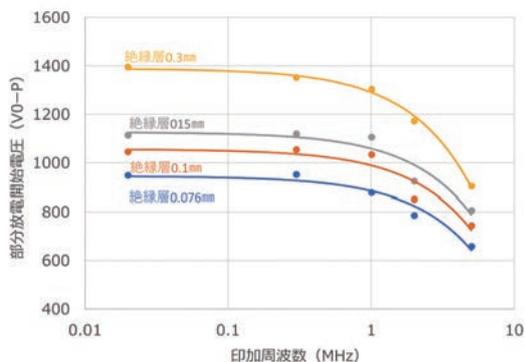


図11 1013.25hPa(常温常圧)の部分放電開始電圧

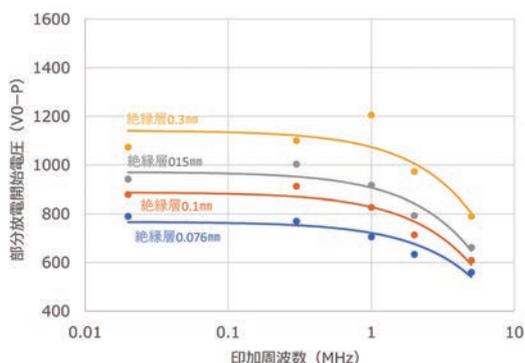


図12 518.60hPa(高所高温)の部分放電開始電圧

5.2 部分放電発生位置

部分放電により発するUV光の観察を行った。図13は実験サンプルのL1層先端部分の部分放電を撮影したものである。図12より、電界CAEによる電界集中箇所(図6参照)と同じ位置で部分放電が発生していることが観察できる。

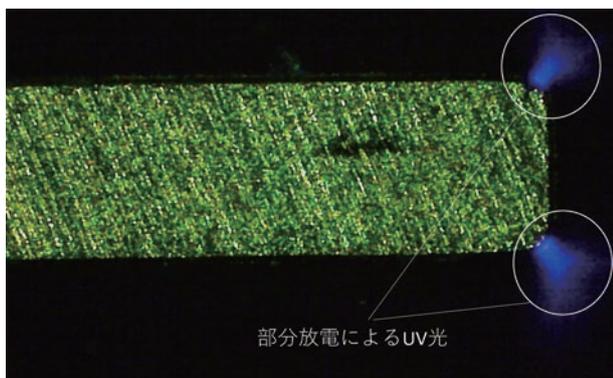


図13 部分放電のUV写真

6. 電界CAE解析への周波数特性の反映

実験結果より、プリント配線板を考慮したパッシェンの法則においては、次のことが分かった。①気圧と周波数は独立である。②放電開始電圧は周波数の1次関数になる(100kHzごとに0.7%程度低下)。以上より、高周波領域までを含むパッシェンの法則は、周波数に依存した補正係数を加味することで算出できると推測した。(5MHzまで)そこで、電界CAE解析と周波数影響を加味したパッシェンの法則を元に部分放電開始電圧を推定した。絶縁層厚0.076mmの例を図14に示す。CAEによる推定値と測定値の定性的傾向は一致している。誤差は他の絶縁層厚も含め、最大30%程度であり、部分放電開始電圧の予測は可能といえる。

低周波側における誤差原因の一つとして、実験サンプルの形状精度が挙げられる。プリント配線板のCuパターン形状はエッチングにより作製するため、表面には微視的な凹凸がある。また、絶縁層厚みにもばらつきがある。そのため、電界分布が変化し推定値と測定値の違いに現れると推測する。

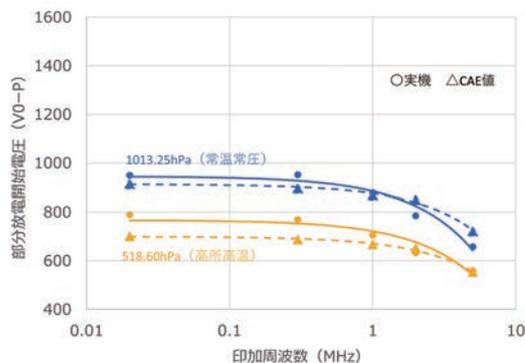


図14 CAE解析と周波数補正による部分放電開始電圧

7. おわりに

近年の電力変換器の高周波化や高電力化に伴い、多層のプリント配線板における絶縁破壊リスクが増大している。リスクに対応するため、高周波域への対応も含めた部分放電発生部位および部分放電開始電圧の予測技術が必要であった。そこで、多層のプリント配線板を想定し、絶縁層を挟んだ上下銅パターン間の部分放電現象、特に高周波領域(MHz帯含む)の予測技術の検討を行った。

検討の結果、電界CAE解析により部分放電開始電圧と

放電部位を明確化するとともに、高周波領域までの補正係数を導出し、5MHzまで部分放電開始電圧を予測できるようにした。

このように技術動向を踏まえた信頼性評価の先行的取り組みはますます重要になると考えられる。今後ともリスクを事前に把握し、信頼性を評価・担保する取り組みを継続していく予定である。



博田 知之(はかた ともゆき)

参考文献

- [1] 博田知之、佐藤博、「プリント配線板における部分放電開始電圧・部位予測と高周波域への拡張」、OMRON TECHNICS、Vol55、No1、p45-52、2023.
- [2] 経済産業省、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」、経済産業省HP、2021-09-03.
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html(2023-01-20).
- [3] 電気学会、JEC-0401、(1990).
- [4] 岡本幸雄、「プロセスプラズマの基礎」、真空学会誌、2016、Vol.59、No7、p161-170.
- [5] 金田輝男、「気体エレクトロニクス」、初版、コロナ社、2003-01-30、226、4-339-00745-5.
- [6] 山本修、濱田昌司、「高電圧工学」、第1版、オーム社、2013-11-20、235、978-4-274-21444-8.
- [7] 電気学会放電ハンドブック出版委員会編、「放電ハンドブック上巻」、第3版、オーム社、2003-03-03、529、4-88688-308-6.

【経歴】

- 1992年 オムロン株式会社 入社
- 1992年～2021年
加工・接合技術や磁性材料応用など、工法技術の先行技術開発に従事
- 2017年～現在
磁性材料の高周波応用やパワエレ関連および接着工程などにおける品質技術開発に従事

けいはんな試験センター E3ラボ 竣工式／竣工披露宴を挙げる

2024年3月21日に、けいはんな試験センター E3ラボの竣工式及び竣工披露宴を挙行いたしました。

ご来賓、会員企業の代表者の方々など、約100名がご参加のもと、竣工式、テープカット、電波暗室の見学会を開催し、竣工披露宴では、近畿経済産業局長、近畿総合通信局長、京都府 副知事、精華町長、大阪府 商工労働部 中小企業支援室 室長をはじめ ご来賓の方々からご祝辞をいただきました。

関西文化学術研究都市(けいはんな学研都市、京都府精華町)に建設していたE3ラボは、2024年1月に工事が完了し無事竣工しました。E3ラボは、SDGsを牽引する脱炭素社会の核となるパワーエレクトロニクス応用機器のEMC試験強化を目的として、大型・大重量・大電力の試験品に対応した第15電波暗室と第16電波暗室の10m法電波暗室2基を備えています。

第16電波暗室は「30MHz未満の放射エミッション測定」や工業用・科学及び医療用機器の最新の国際規格(CISPR 16-1-4:2023)に国内で初めて適合した10m法電波暗室です。

企業1社での保有が難しい大型・大重量・大電力の試験が可能なEMC試験設備を保有することで、最新EMC国際規格によって大幅に拡大する試験項目にも対応し、日々進化するパワーエレクトロニクス応用機器に対して高品質で信頼性の高い試験を提供いたします。

新しい大型電波暗室を幅広くご利用いただくことで、脱炭素エネルギーインフラの拡充に今後一層、貢献いたします。



竣工式



テープカット



見学会



竣工披露宴

KECウェブサイト リニューアルのお知らせ

KECプレゼンス強化の一環として、ページデザインやサイト構成、コンテンツ等をリニューアルしたウェブサイト
サイトを2024年3月にオープンいたしました。

ウェブサイトは「KECの顔」であり、その役割はKECを理解していただく場、試験利用/講座・セミナー受講
への入口であるとの認識から、時代に即した使い易いサイトを目指しました。

リニューアルしたウェブサイト(<https://www.kec.jp/>)の概要は以下の通りです。



(1) ページデザイン

EMC等の技術になじみのない方でも、簡単に閲覧してKECをご理解いただけるように、分かり易
いページデザインといたしました。

(2) サイト構成

必要な情報に容易にアクセスしていただけるように、シンプルなサイト構成といたしました。

(3) コンテンツ

より多くの方にKECをご利用いただけるように、試験施設や施設予約状況等のコンテンツを見直し、
使い易さ向上を図りました。

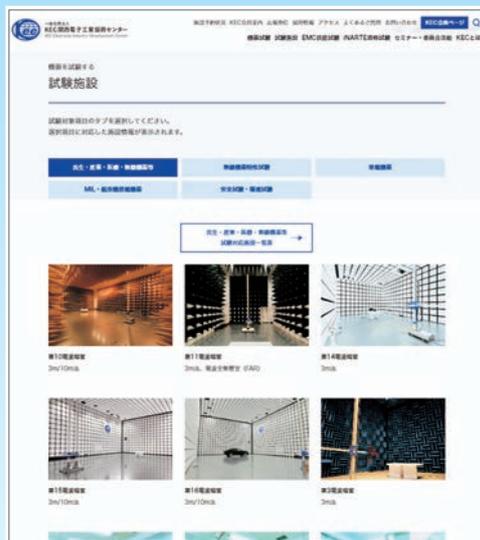
(4) 情報セキュリティ対策

安心してウェブサイトをご利用いただけるように、情報セキュリティ対策を強化いたしました。

ご利用いただく皆様にとって、より使い易いウェブサイトを目指して、今後も改善に努めます。



KECウェブサイト トップページ



KECウェブサイト 試験施設ページ

けいはんな試験センター E3ラボ ISO/IEC 17025 試験所認定を新たに取得

けいはんな試験センター E3ラボの第16電波暗室は、VLAC(電磁環境試験所認定センター)による国際規格ISO/IEC 17025に基づく試験所認定を2024年3月22日に取得しました。4月4日から順調に稼働を開始し、同じE3ラボ内の第15電波暗室についても7月下旬に取得を予定しています。

第15電波暗室と第16電波暗室のEMC・FCC・無線機器の規格認定範囲は、2023年7月に、けいはんな試験センター E1棟第10電波暗室で認定拡大した内容と同等で同様の認定試験が実施可能です。

今年度は既存の施設に加え、新設したE3ラボの稼働により、高精度な試験サービスのご提供、納期短縮を実現し、ご利用企業様へ一層の貢献を目指します。

E3ラボ ISO/IEC 17025試験所認定取得(予定)

施設名	認定取得	監査実施日
第15電波暗室	7月下旬(予定)	書類審査5月～7月予定(現地審査なし)
第16電波暗室	3月22日取得済	2024年2月29日、3月1日実施済み

EMC・FCC・無線機器の規格認定範囲

施設名	場所	EMC認定範囲		FCC認定範囲		無線機器認定範囲			
		エミッション	イミュニティ	Part 15 B	Part 18	欧州	米国	カナダ	
第10電波暗室	E1棟	2023年7月認定拡大							
第15電波暗室	E3ラボ	雑音電力除く		2024年7月下旬認定取得(予定)					
第16電波暗室		雑音電力除く		2024年3月認定取得済					

※2023年7月認定取得範囲基準



第15電波暗室



第16電波暗室

お問い合わせ先

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 試験事業部
E-mail: inquiry@kec.jp TEL: 0774-29-9139

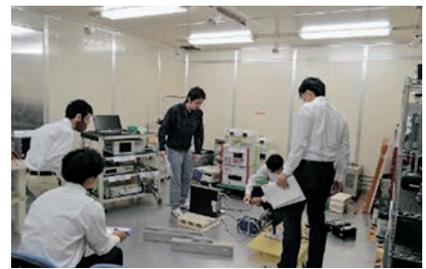
2024年度 EMC試験法講習会開催のお知らせ

試験事業部EMC・安全技術グループでは毎年恒例のEMC試験法講習会を2024年10月24日、25日に実施いたします。

民生・産業・車載電子機器のエミッション試験やイミュニティ試験を実施される方々、あるいは社内での種の業務をご担当されている方々を対象に、当センターの施設を使用し、体験学習をしていただく講習会です。

座学ではEMC分野でご活躍されているエキスパートを講師にお招きし、ご講演いただきます。

ぜひこの機会に本講習会を受講いただき、貴社の電気・電子機器設計や品質保証にお役立ていただければ幸いです。



開催日時

- | | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------------------|
| 【座学】 EMC基礎・規格動向 | 10月24日(木) | 10:00～16:00
16:00～17:30(情報交換会) |
| 【実習】 車載機器コース または 民生機器コース | 10月25日(金) | 10:00～16:40 |

開催場所

- | |
|--|
| 【座学】 けいはんなプラザ 5F大会議室 |
| 【実習】 一般社団法人KEC関西電子工業振興センター けいはんな試験センター E1棟 |

募集人数

- | |
|---|
| 【座学】 30名 |
| 【実習】 車載機器コース 12名
民生機器コース 12名(エミッションコース、イミュニティコース各6名) |

プログラム（予定）

■座学【10月24日（木）】 ※講演者と題目に関しては8月にウェブサイトで公開いたします。

10:00～10:10	オリエンテーション
10:10～15:50 (休憩時間を含む)	車載規格動向
	民生規格動向
	EMC対策基礎
15:50～16:00	修了証書授与
16:00～17:30	情報交換会

■実習【10月25日（金）】（コース選択制です。車載機器コースまたは民生機器コースのどちらかをお選びください。）

10:00～10:10	オリエンテーション
10:10～16:30 (休憩時間を含む)	車載機器コース
	・ CISPR 25:放射エミッション(150kHz～6GHz) / 伝導エミッション(150kHz～108/245MHz)
	・ ISO 11452-2, -4:放射イミュニティ ALSE (200MHz～2.5GHz) / BCI(1MHz～400MHz)
	民生機器コース
	(コース選択制です。エミッションコースまたはイミュニティコースのどちらかをお選びください。)
	・ エミッションコース:放射妨害波測定 / 伝導妨害波測定
	・ イミュニティコース:放射イミュニティ / 伝導イミュニティ試験 etc
16:30～16:40	修了証書授与

応募方法・募集開始日時

下記日時よりウェブサイトにて受付開始いたします。

会 員:8月1日(木) 9:00 非会員:8月19日(月) 9:00

- ・ 会員、非会員で募集開始日時が異なりますのでご注意ください。
- ・ 募集開始日時前のお申込みは受付いたしかねます。

注意事項

- ・ 実習は、1社あたりのお申込みを各コース1名様までとさせていただきます。
- ・ 実習は、当センターと同業のお客様のお申込みをお断りさせていただきます。
- ・ 都合により時間や内容が変更となる場合がありますのでご了承ください。
- ・ 参加者数により実習スケジュールが一部変更となる場合があります。
- ・ お客様のご都合によるキャンセルは原則としてお受けしておりません。
- ・ 参加予定者が出席できなくなった場合は、代理の方のご出席をお願いします。（事前にご連絡をお願いいたします。）
- ・ 受講料は各コースにより異なります。受講後に銀行振込にてお支払いください。詳細はウェブサイトにてご案内いたします。

お問い合わせ先

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 試験事業部
E-mail:seminar@kec.jp TEL:0774-29-9139

「TECHNO-FRONTIER 2024」出展のお知らせ

2024年7月24日から7月26日の間、東京ビッグサイトで開催されるTECHNO-FRONTIER 2024の東展示棟において、第37回 EMC・ノイズ対策技術展に出展いたします。

EMC及び製品安全に関する国際資格であるiNARTE資格を有する経験豊富なエンジニアも展示員として常駐していますので、試験のご相談やお困りごと等がございましたら、是非この機会にご来展ください。

また2024年4月に稼動を開始したKECけいはんな試験センターE3ラボにつきましてNSILに適合した高性能大型10m法電波暗室や360kVAまで供給可能な高性能電源設備をご紹介いたします。

会 期	2024年7月24日(水), 25日(木), 26日(金)
時 間	10:00～17:00
開催場所	東京ビッグサイト 東展示棟 ブース番号2F-04
公式サイト	https://www.jma.or.jp/tf/ (外部サイト)

詳細は、弊センターウェブサイト(<https://www.kec.jp/news/td-12/>)に掲載しています。



なお事前登録制ですので、ご来場までに公式サイトより事前登録をお願いいたします。



TECHNO-FRONTIER2023出展時の様子

お問い合わせ先

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 試験事業部
E-mail: inquiry@cec.jp TEL:0774-29-9139



第29回 EMC関西2024

『脱炭素化を実現するパワエレ技術とEMC課題』

昨今、環境問題・温暖化対策として脱炭素化へのシフトが叫ばれ、自動車業界においても電動化の動きが加速し、自然エネルギー活用推進も進められており、電力変換機器の高電圧化も進んでおり、それから発する電磁波の影響も益々大きくなり、EMC課題・対策の重要性も増しております。これらの技術開発には効率よく電力を変換するパワーエレクトロニクス技術が不可欠です。このような観点で、今年のEMC関西2024は『脱炭素化を実現するパワエレ技術とEMC課題』を主題に、各分野の第一線で活躍の方を講師にお迎えしご講演をいただきます。

日時	2024年10月4日[金] 10:30～17:00	開催場所	CIVI研修センター新大阪東 E705 ハイブリッド形式 (会場とオンライン併用)
主催	一般社団法人 KEC関西電子工業振興センター	参加費	会員 : 9,900円 非会員 : 13,200円 (税込)

プログラム

10:30	開会の挨拶	一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 専務理事 柳川 良文
10:35 ～ 11:30	新エネルギー/スマートグリッドにおけるパワーエレクトロニクス応用技術(仮題)	長岡技術科学大学 大学院工学研究科 教授 伊東 淳一 氏
11:35 ～ 12:30	車の電動化を中心にしたパワーエレクトロニクス応用技術(仮題)	名古屋大学 未来材料・システム研究所 教授 山本 真義 氏 ----- 昼食休憩 (70分) -----
13:40 ～ 14:35	ワイドバンドギャップ半導体を用いた電源アダプタの技術展望と課題(仮題)	株式会社テカナリエ 代表取締役CEO 清水 洋治 氏
14:40 ～ 15:35	太陽光発電システム用電力変換装置向けEMC規格に関する最新動向(仮題)	富士電機株式会社 技術開発本部 デジタルイノベーション研究所 吉岡 康哉 氏 ----- 休憩 (20分) -----
15:55 ～ 16:45	パワーエレクトロニクス応用機器のEMC測定・評価法(仮題)	一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 試験事業部 事業部長 峯松 育弥
16:50	閉会の挨拶	一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 専門委員会推進部 部長 岸本 隆

(*)プログラムは、事情により変更になる場合がございます。予めご了承ください。

概要・お問い合わせ先

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター
〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台3丁目2番地2
EMC関西企画WG 事務局 石住 隆司
TEL: 0774-29-9041 / FAX: 0774-93-4564
E-mail: publication01@kec.jp

申込方法: 当センター ウェブサイトより
定員: 100名(会場)
100名(オンライン)

8月上旬、募集開始を予定しております。

会場アクセス



■ JR「新大阪」駅下車 東口から50m (徒歩1分)
LUCID SQUARE SHIN-OSAKA 7階(旧ビル名: 新大阪NLビル)



2024年度 製品安全基本教育講座

－ 製品安全の基本を学ぶ － 製品安全に関する最先端の規格動向が身につきます

消費者に電気製品を安心して使用していただくためには、製品が安全であることが前提です。
本講座は製品安全の基本から個別の製品についてのIEC安全規格の具体的な要求事項に加えて、IEC 62368-1や電気用品安全法の技術基準の性能規定化等の最新情報を盛り込んでいます。
全講義を通して受講することにより、製品安全の基本事項を幅広く修得してもらうことを目的としています。また、受講者の担当する製品や知識レベルに応じて、必要な講座だけを選択受講することも可能です。

講座コーディネーター：柴田 恵 氏 (IEC TC108 HBSDT エキスパート)

概 要

開催日時	講 義 項 目	講 師
1 2024年 9月13日(金)	製品安全の基本的な考え方と 世界の製品安全法規・規制・認証制度	川口 昇 氏 株式会社UL Japan
2 9月27日(金)	事件事例とリスクアセスメント	酒井 健一 氏 独立行政法人製品評価技術基盤機構
3 10月25日(金)	電気用品安全法の技術基準(省令)及び IEC規格の基礎	住谷 淳吉 氏 一般財団法人電気安全環境研究所
4 11月29日(金)	機器別IEC規格要求: AV・IT・CT機器 (IEC 62368-1)	近藤 孝彦 氏 一般財団法人電気安全環境研究所
5 12月20日(金)	機器別IEC規格要求: 電化機器(IEC 60335)	氏田 良太 氏 パナソニック オペレーショナルエクセレンス株式会社
6 2025年 2月 7日(金)	低電圧機器の絶縁協調について (JIS C 60664)	住谷 淳吉 氏 一般財団法人電気安全環境研究所
	樹脂材料の基礎知識と特性評価方法の解説 (UL94, UL746等)	有森 奏 氏 株式会社UL Japan

※プログラムは、事情により変更になる場合があります。予めご了承ください。

開催期間・時間

2024年9月13日(金)～2025年2月7日(金)
(全6回) 時間13:00～17:00

会場

Zoomによるオンライン(全国どこからでも参加可能)

受講対象

品質部門、製品安全、規格認証に関わる方

講師陣

業界の最先端で活躍されているエキスパート

定員

先着50名(定員になり次第募集締切)

受講料(税込)

1講義(1日)当たりの受講料です。

KEC会員 : 7,700円
非会員 : 11,000円

申込・受講方法

KECウェブサイトの申込みフォームからお申込みください。
各講義、申込締切は開講日の1か月前です。
請求書をご送付いたします。期日までに請求書記載の指定銀行口座に受講料をお振込みください。
受講証の発行はしていません。
テキストはPDFにて配付します。製本テキストの配付はございません。
開講日の前日までに、聴講用URLが記載された案内メールを送信いたします。

問い合わせ先

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 専門委員会推進部 事務局 藤田 泰男
〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台3丁目2番地2
E-mail : publication01@kec.jp TEL : 0774-29-9041

申込み・詳細はこちら

<https://www.kec.jp/seminar/anzen24/>





2024年度 iNARTE EMC 資格試験のご案内



【2024年度 iNARTE EMC資格 オンライン試験】

日 時	エンジニア：2024年11月 6日(水)	定員:60名	エンジニアは6日または8日の どちらか1日を申込時に選択し て受験
	エンジニア：2024年11月 8日(金)	定員:70名	
テクニシャン：2024年11月 6日(水)	定員:10名		
開始時間：8:30～9:00 試験時間は4時間 ただし13時までには終了する事			
募集期間	2024年7月1日(月)～9月10日(火) ただし定員になり次第締切		
受験料	14,300円(消費税込) なお、合格された方は 別途認証料 12,100円が必要です。		
会場	オンライン(ご自宅またはご勤務先等、パソコン/ネット環境のある場所から受験)		

■申込前の準備

スマートフォン・カメラ付きパソコン・本人確認用の顔写真付身分証(ローマ字表記)が必要です。

■パソコン

OS(※)	Windows 10以上 または macOS	(※) OS及びブラウザは 最新版を推奨
CPU	1GHz以上	
メモリ	4GB以上	
ブラウザ(※)	Google Chrome/Microsoft Edge/Safari	
通信速度	1Mbps以上	

■スマートフォン (試験中電源は常時ON)

OS	iOS または Android	(※) Google Meetが 利用できない場合は ブラウザでも対応可能
ブラウザ	Safari/Google Chrome	
アプリ(※)	Google Meet(推奨)	

■試験要領

各問3～5者選択肢からの選択方式、解答問題数50問、合格基準70点以上

■持込可能物

参考図書、受験者が作成したノート、関数電卓、筆記用具
※パソコンに資料を入れて閲覧することは出来ません。

■オープンブック方式と事前整理の必要性

参考図書に制限はありませんが、3～5冊程度にし、索引を作っておくなど事前準備を推奨します。

2024年度から業務経験年数不問のAssociate資格を導入します。

詳細は弊センターウェブサイト https://www.kec.jp/img/committee/2024/narte_emc24.pdf



iNARTE-EMC資格試験のお申込みは

https://www.kec.jp/seminar/narte_emc24/

けいはんな試験センター E3ラボ 見学会及び記念ミニセミナー開催報告

試験事業部

2024年4月26日にけいはんな試験センター E3ラボの見学会及び記念ミニセミナーを開催いたしました。同時開催の展示会と併せて、関西圏以外の遠方の方々も含めて約70名の方々にご来場いただきました。

第15電波暗室と第16電波暗室の内部と、竣工式ではご紹介しきれなかった大電力電源システム、排気ガスシステム、給排水システム等の付帯設備を詳細に見学いただきました。

ご多忙にも関わらず、参加いただきました皆様、展示会ブースに出展いただきました皆様、セミナー講師の皆様
に厚く御礼申し上げます。

■見学会

13:00～16:30	第15電波暗室、第16電波暗室見学会
	【展示会(出展企業)】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 菊水電子工業株式会社 ・ 株式会社東陽テクニカ ・ 株式会社テクノサイエンスジャパン ・ ネクステム株式会社 ・ ローデシュワルツ・ジャパン株式会社

■記念ミニセミナー

13:30～14:10	ローデシュワルツ・ジャパン株式会社 EMIレシーバR&S ESWのご紹介 ・ 広帯域(最大970MHz)FFTによるTime Domain Scan	西澤 正毅 氏
14:20～15:00	菊水電子工業株式会社 E3ラボ納入電源設備のご紹介と交流電源・双方向電源の活用方法	茂戸藤 寛 氏
15:10～15:50	株式会社リケン環境システム NSIL(Normalized Site Insertion Loss) ±4dB 実現にむけて	吉原 勝 氏



第15電波暗室 / 第16電波暗室 見学会



記念ミニセミナー



展示会

委員会等の動き(2024年3月～2024年5月)

(各議事録より抜粋。所属等は記載日時の情報)

◆◆◆◆◆ 研究専門委員会活動 ◆◆◆◆◆

(1) 研究専門委員会 委員長 岡村 康行(大阪大学)

[2023年度第3回研究専門委員会] 2024年3月26日(火) オンライン会議

1. 第27回KECテクノフォーラム実施報告
2. 第28回KECテクノフォーラム企画検討(テーマ等)
3. KEC状況報告(次世代ワイヤレス技術講座、2024年KECセミナー等)

[2024年度第1回研究専門委員会] 2024年5月20日(月) オンライン会議

1. KEC状況報告(次世代ワイヤレス技術講座、2024年KECセミナー、第15回光・電波フォーラム)
2. 第28回KECテクノフォーラム企画検討(テーマ、講演候補者等)

(2) 次世代ワイヤレス技術講座 講座長 岡田 実(奈良先端科学技術大学院大学)

[次世代ワイヤレス技術講座第6講の開催] 2024年3月15日(金) オンラインセミナー

受講者:29名

No.	題 目	講 師	所 属
6	成層圏通信プラットフォーム(HAPS)を活用したBeyond 5G移動通信システム	長手 厚史 氏	ソフトバンク株式会社
7	衛星を含む非地上系ネットワークによる次世代無線通信技術	辻 宏之 氏	情報通信研究機構

[2024年度次世代ワイヤレス技術講座の企画]

岡田講座長の企画のもと、全6講の内容(日時、題目、講師)を確定

日 程:2024年5月17日(金)～2025年3月21日(金)

場 所:オンライン開催

[次世代ワイヤレス技術講座第1講の開催] 2024年5月17日(金) オンラインセミナー

受講者:43名

No.	題 目	講 師	所 属
1	プラットフォーム時代を支えるBeyond 5G/6Gネットワーク	原田 博司 氏	京都大学

(3) KECセミナー企画WG 主査 佐藤 和郎 (地方独立行政法人大阪産業技術研究所)

[2024年KECセミナーの企画]

日 程:2024年7月12日(金)

場 所:オンライン開催

テーマ:「未来を創るAI ビジョンと挑戦」

～生成AI・ロボティクス・機械学習・画像解析の最新動向～

No.	題 目	講 師	所 属
1	[基調講演] 生成AI時代の認知とロボティクス	谷口 忠大 氏	京都大学
2	マテリアルズ・インフォマティクスを活用した 電力機器向け絶縁樹脂探索	豎山 智博 氏	東芝インフラシステムズ 株式会社
3	住友電工における計測インフォマティクスの取組み	星名 豊 氏	住友電気工業株式会社
4	生成AIの進展と活用可能性	金 剛 洙 氏	株式会社松尾研究所 株式会社MK Capital

◇◇◇◇◇ EMC専門委員会活動 ◇◇◇◇◇

(1) EMC専門委員会 委員長 和田 修己 (名古屋工業大学)

[2023年度第3回EMC専門委員会] 2024年3月13日(水) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 報告事項 (事務局報告)

- (1) 全体の活動状況
- (2) 予算執行状況
- (3) 2024年度WG参加者募集結果

2. 審議事項

- (1) 2024年度WG参加者再確認
- (2) 2024年度予算最終確認
- (3) 今後のWG活動について

[2023年度年間Sharedミーティング] 2024年3月13日(水) DKビル8階オフィス+オンライン会議

テーマ:2023年度WG活動成果報告と2024年度計画

参加者:80名

No.	題 目	報 告	所 属
1	EMC専門委員会活動 全体概要報告	KEC事務局	一般社団法人KEC関西 電子工業振興センター
2	2023年度WG活動成果報告と2024年度計画	各WG主査	下記 (2)～(7) 参照

(2) EMCラウンドロビンテストWG 主査 橋本 寛次(株式会社リケン環境システム)

[3月度WG] 2024年3月5日(火) オンライン会議

1. 2月度実験結果報告、整理
2. Sharedミーティング資料検討

[5月度WG] 2024年5月14日(火) DKビルA会議室+オンライン会議

1. 2023年度WG活動アンケート結果報告
2. オンラインストレージ説明
3. メンバー自己紹介
4. 主査、副主査の選出
5. 2024年度活動計画

(3) 車載機器計測精度分析WG(～2024年3月)、車載EMC計測技術開発WG(2024年4月～)

主査 貝山 光雄(株式会社デンソー EMCエンジニアリングサービス)

[5月度WG] 2024年5月17日(金) DKビルA会議室+オンライン会議

1. 2023年度WG活動アンケート結果報告
2. オンラインストレージ説明
3. メンバー自己紹介
4. 主査、副主査の選出
5. 2024年度活動計画

(4) 新規EMC規格対応WG 主査 石原 悠司(株式会社ノイズ研究所、～2024年3月)

主査 高倉 洋(株式会社堀場エステック、2024年4月～)

[4月度WG] 2024年4月12日(金) DKビルA会議室+オンライン会議

1. 2023年度WG活動アンケート結果報告
2. オンラインストレージ説明
3. メンバー自己紹介
4. 主査、副主査の選出
5. 2024年度活動計画

(5) パワーエレクトロニクスEMC規格対応WG 主査 井淵 貴章(大阪大学)

[4月度WG] 2024年4月19日(金) DKビルA会議室+オンライン会議

1. 2023年度WG活動アンケート結果報告
2. オンラインストレージ説明
3. メンバー自己紹介
4. 主査、副主査の選出
5. 2024年度活動計画

[5月度WG] 2024年5月29日(水) オンライン会議

1. 実験計画検討
2. EMC規格審議状況共有

(6) EMC欧米規格 調査出版WG 主査 白井 崇 (ヤマハ株式会社、～2024年3月)
主査 武井 忠庸 (SGSジャパン株式会社、2024年4月～)

[3月度WG] 2024年3月14日(木) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 情報共有 (国際関係、EU関係、米州関係)
2. VCCI技術シンポジウム参加報告
3. 総務省MRA国際ワークショップ参加報告
4. FCC規格翻訳作業現状と今後のスケジュール

[4月度WG] 2024年4月18日(木) DKビルA会議室+オンライン会議

1. 2023年度WG活動アンケート結果報告
2. オンラインストレージ説明
3. メンバー自己紹介
4. 主査、副主査の選出
5. 2024年度活動計画
6. 情報共有 (国際関係、EU関係、米州関係)
7. VCCI国際フォーラム参加報告
8. EMCC CISPR国際会議報告会参加報告

(7) EMCアジア圏規格 調査出版WG 主査 麻場 智明 (株式会社アドバンテスト)

[5月度WG] 2024年5月14日(火) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 2023年度WG活動アンケート結果報告
2. オンラインストレージ説明
3. メンバー自己紹介
4. 主査、副主査の選出
5. 2024年度活動計画
6. 情報共有 (中国、韓国、台湾、インド、サウジアラビア、日本)

(8) EMC関西企画WG

[3月度WG] 2024年3月26日(火) オンライン会議

1. EMC関西2024企画検討 (日程、会場、講演候補者、テーマ等)
2. その他 (今後のスケジュール等)

[5月度WG] 2024年5月28日(火) オンライン会議

1. EMC関西2024企画検討 (講演候補者受諾状況、テーマ決定、実施形態確認等)

(9) 設計者向けEMC技術講座

[2024年度設計者向けEMC技術講座の企画]

全11講の内容(日時、題目、講師)を確定

日 程:2024年7月11日(木)～2025年2月13日(木)

場 所:オンライン開催(第11講の計測器実習のみリアル開催)

◆◆◆◆◆ 製品安全専門委員会活動 ◆◆◆◆◆

(1) 製品安全専門委員会

[製品安全基本教育講座第7講の開催] 2024年3月22日(金) オンラインセミナー

受講者:28名

No.	題 目	講 師	所 属
7	低電圧機器の絶縁協調について(JIS C 60664)	住谷 淳吉 氏	一般財団法人 電気安全環境研究所
8	樹脂材料の基礎知識と特性評価方法の解説 (UL 94, UL 746等)	有森 奏 氏	株式会社UL Japan

[2024年度製品安全基本教育講座の企画]

全6講の内容(日時、題目、講師)を確定

日 程:2024年9月13日(金)～2025年2月7日(金)

場 所:オンライン開催

(2) 信頼性分科会 主査 藤本 恵一(エスペック株式会社)

[3月度定例会] 2024年3月14日(木) オンライン会議

1. 勉強会

- ・KEC情報誌7月号(No.270)原稿確認

「ケーブル屈曲寿命予測における従来手法と機械学習との比較評価」

2. 2024年度活動について

[4月度定例会] 2024年4月11日(木) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 勉強会

- ・KEC情報誌7月号(No.270)原稿確認

「SEM-EDXスペクトラムイメージングデータの主成分分析結果に対する考察」

「供試品の公表寿命と堅牢性を用いた寿命分類モデルの検討」

2. 2024年度活動について

3. IEEE ISPCE 2024プログラム紹介

[5月度定例会] 2024年5月9日(木) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 勉強会

- ・KEC情報誌7月号(No.270)原稿確認

「プリント配線板における部分放電開始電圧予測検討（～5MHz）」

「供試品の公表寿命と堅牢性を用いた寿命分類モデルの検討」

- ・高温高湿負荷/振動負荷による商品劣化予測に必要なテストピースでの加速評価技術と負荷指標化技術

2. 外部講師による勉強会の内容検討

3. IEEE ISPCE 2024参加報告

(3) 安全規格分科会 主査 後藤 英二 (パナソニック株式会社)

[3月度定例会] 2024年3月27日(水) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. トピックス:IEC 60335シリーズ製品群にIEC 62368-1適合電源を使用した場合の評価について
2. 第5回KEC製品安全フォーラムアンケート結果紹介
3. 2024年度活動について

[5月度定例会] 2024年5月22日(水) 一般財団法人電気安全環境研究所 (JET) 関西事業所
+オンライン会議

1. メンバー自己紹介

2. トピックス

- ・UL Japan会社紹介、UL Japanにおけるモビリティ関連サービスの投資の歴史紹介
- ・JET関西事業所紹介(業務内容・試験設備等)
- ・IECEE CTL会議参加報告

3. IEC 62368-1試験手引書レビュー

4. IEEE ISPCE 2024参加報告

(4) 安全技術研究会 主査 内田 徳昭 (任天堂株式会社)

[3月度定例会] 2024年3月19日(火) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 各委員からの情報共有

- ・過去トラ活用状況、AIを活用したナレッジシステム紹介
- ・リスクアセスメント:セーフティモジュール法利用について
- ・生成AI (Copilot) 紹介

等

2. 第5回KEC製品安全フォーラムアンケート結果紹介

[4月度定例会] 2024年4月17日(水) DKビル8階オフィス+オンライン会議

1. 各委員からの情報共有

- ・日経クロステック記事「事故の発生メカニズムを理解し、高精度にリスクを洗い出す」紹介
- ・難燃材の効果と燃焼メカニズムについて
- ・安全設計審査における電子取説の扱いについて

等

2. 安全工学シンポジウム2024紹介

3. 2024年度活動について

センターニュース

[5月度定例会] 2024年5月15日(水) オンライン会議

1. 各委員からの情報共有

- ・「消費者事故調査～要求事項とガイダンス」(ISO 5665) 紹介
- ・総務省MRA国際ワークショップ2024プログラム紹介
- ・日本小児科学会Injury Alert (傷害速報) 紹介

等

2. 2024年度活動について

◇◇◇◇◇ iNARTE/Japan専門委員会活動 ◇◇◇◇◇

(1) KEC/iNARTE (Exemplar Global, Inc.)会議

[2024年度第1回会議] 2024年4月26日(金) オンライン会議

1. 2024年度資格試験計画
2. 資格試験制度に関する議論

(2) iNARTE/Japan PS (製品安全)分科会 主査 舟木 剛 (大阪大学)

[分科会] 2024年3月13日(水) オンライン会議

1. 2024年度PS受験講習会/PS資格試験実施予定
2. Associate資格運用に関して

◇◇◇◇◇ EMC設計技術者資格推進委員会活動 ◇◇◇◇◇

(1) EMC設計技術者資格推進委員会 主査 福本 幸弘 (九州工業大学)

[推進委員会] 2024年3月22日(金) オンライン会議

1. 2023年度EMC設計技術者資格試験結果報告
2. 2024年度活動について

出版物のご案内

◆ 不要輻射ハンドブック FCC規格集 2023年版 FCC Part2/Part15/Part18/MP-5(対訳版)

2020年以降、2023年4月までに追加/改訂されたFCC Part2、Part15、Part18とPart18が引用しているMP-5(測定法)の英語/日本語対訳版で、Wi-Fi 6E関連等が主な追加部分です。

価 格	会員 42,900円(本体価格 39,000円) 非会員 56,100円(本体価格 51,000円)
発 行 日	2024年3月14日
体 裁	A4判 598頁 製本

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 303 413 第1.1.1版(2017-06)

全地球航法衛星システム(GNSS)などで、周波数範囲が1,164-1,300MHzと1,559-1,610MHzで動作する受信機；
指令2014/53/EUの第3条2の必須要求事項に適用する整合規格。
GPSやBDS、GLONASSなどの受信器に対する技術特性、測定方法の要求事項

価 格	会員 15,400円(本体価格 14,000円) 非会員 20,020円(本体価格 18,200円)
発 行 日	2019年3月28日
体 裁	A4判 68頁 製本

◆ 韓国国立電波研究院 告示 第2018-17号/公告 第2018-128号/告示 第2018-29号(邦訳版)

『韓国国立電波研究院 告示2018-17号 放送通信機資材等の適合性評価に関する告示』、『韓国国立電波研究院 公告 2018-128号 電磁両立性試験方法に関する公告』、『韓国国立電波研究院 告示2018-29号 電磁両立性の基準に関する告示』邦訳版です。原文と併せてご利用ください。

価 格	会員 66,000円(本体価格 60,000円) 非会員 85,800円(本体価格 78,000円)
発 行 日	2019年3月20日
体 裁	A4判 366頁 製本

◆ 米国IEEE/ANSI C63.5-2017 対訳版

9kHz～40GHzまでの範囲で電磁干渉(EMI)コントロールにおける放射エミッション測定を行うために使用されるアンテナファクタ(AF)及びアンテナの関連パラメーターの決定方法

価 格	会員 44,000円(本体価格 40,000円) 非会員 57,200円(本体価格 52,000円)
発 行 日	2018年4月
体 裁	A4判 282頁 製本

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 301 893 第2.1.1版(2017-05)

5GHz RLAN; 指令2014/53/EUの第3条2の必須要求事項に適用する整合規格
RLAN装置を含む5GHzワイヤレスアクセスシステム(WAS)に対する技術特性、測定方法及びスペクトラムアクセスの要求事項

価 格	会員 44,000円(本体価格 40,000円) 非会員 57,200円(本体価格 52,000円)
発 行 日	2018年3月31日
体 裁	A4判 238頁 製本

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 300 328 第2.1.1版(2016-11)

電磁的両立性及び無線スペクトル事項(ERM); 広帯域送信システム; 2.4GHzのISM帯域で運用し広帯域変調技術を使用するデータ送信装置; 指令2014/53/EUの第3.2条の必須要求事項を満たす整合規格

価 格	会員 33,000円(本体価格 30,000円) 非会員 42,900円(本体価格 39,000円)
発 行 日	2017年12月25日
体 裁	A4判 222頁 製本

出版物のご案内

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 301 489-1 第2.1.1版(2017-02)

電磁的両立性及び無線スペクトル事項(ERM);無線装置及びサービスの電磁的両立性(EMC)規格;パート1:共通技術要求事項;指令2014/53/EUの第3条1(b)及び指令2014/30/EUの第6条の必須要求事項を満たす整合規格

価 格	会員 16,500円 (本体価格 15,000円) 非会員 21,450円 (本体価格 19,500円)
発 行 日	2017年12月15日
体 裁	A4判 90頁 製本

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 301 489-17 第3.1.1版(2017-02)

電磁的両立性及び無線スペクトル事項(ERM);無線装置の電磁的両立性(EMC)規格;パート17:広帯域データ送信システムのための特別条件;指令2014/53/EUの第3条1(b)の必須要求事項を満たす整合規格

価 格	会員 11,000円 (本体価格 10,000円) 非会員 14,300円 (本体価格 13,000円)
発 行 日	2017年12月15日
体 裁	A4判 46頁 製本

◆ 欧州官報L41 UNECE規則第10号 Ver.5(対訳版)

2012年9月20日に発行されたL254/L257(UN/ECE R10.04)の改訂版で、電気自動車等の充電モードによる試験条件が追加となっております。

価 格	会員 27,500円 (本体価格 25,000円) 非会員 35,750円 (本体価格 32,500円)
発 行 日	2017年7月1日
体 裁	A4判 280頁 製本

◆ MIL-STD-461G 2015年(邦訳版)

米国軍用機器のEMC規格翻訳版

米軍国防総省インターフェース規格

サブシステム及び機器の電磁妨害特性の管理についての要求事項

価 格	会員 33,000円 (本体価格 30,000円) 非会員 42,900円 (本体価格 39,000円)
発 行 日	2017年3月10日
体 裁	A4判 252頁 製本

◆ 米国IEEE/ANSI C63.4-2014 対訳版

9kHzから40GHzの範囲における低電圧電気電子機器からの無線雑音エミッションの測定方法に関する米国規格。

本規格書はFCC規則の基で規制対象となる無線周波機器の試験方法として必須の規格書です。

価 格	会員 33,000円 (本体価格 30,000円) 非会員 42,900円 (本体価格 39,000円)
発 行 日	2015年3月31日
体 裁	A4判 342頁 製本

◆ 不要輻射ハンドブック(無線受信機、デジタル機器、低電圧無線通信等)北米編(インダストリーカナダ規定集)2015年版 対訳版

2013年9月末日までに発行されたインダストリーカナダ,ICES-003, RSS-Gen, RSS-102, RSS-210, RSS-310の翻訳を行い、英語/日本語の対訳版として発行いたしました。

価 格	会員 27,500円 (本体価格 25,000円) 非会員 35,750円 (本体価格 32,500円)
発 行 日	2015年3月29日
体 裁	A4判 300頁 製本

出版物のご案内

◆ IEEE/ANSI C63解釈集 対訳版

C63シリーズ規格で規定される測定機器の仕様や試験方法等に関する各方面からC63委員会に寄せられた質問に対するC63委員会の回答を対訳版で翻訳・出版したものです。

価 格	会員 16,500円 (本体価格 15,000円) 非会員 21,450円 (本体価格 19,500円)
発 行 日	2014年5月29日
体 裁	A4判 174頁 製本

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 300 330-1 第1.7.1版(2010-02)

電磁的両立性及び無線スペクトル事項(ERM);短距離機器(SRD);9kHz～25MHzの周波数範囲の無線装置及び9kHz～30MHzの周波数範囲の誘導ループシステム;パート1:技術特性及び試験方法

価 格	会員 19,800円 (本体価格 18,000円) 非会員 25,740円 (本体価格 23,400円)
発 行 日	2014年3月28日
体 裁	A4判 132頁 製本

◆ 欧州ETSI規格対訳版 ETSI EN 301 489-3 第1.6.1版(2013-08)

電磁的両立性及び無線スペクトル事項(ERM);無線装置及びサービスの電磁的両立性(EMC)規格;パート3:周波数9kHz～246GHzで運用する短距離機器(SRD)のための特別条件(短距離装置及び付随する補助装置の適切な試験条件、性能評価及び性能基準を規定している規格です)

価 格	会員 8,800円 (本体価格 8,000円) 非会員 11,440円 (本体価格 10,400円)
発 行 日	2014年3月28日
体 裁	A4判 40頁 製本

◆ EMC用語集 -第3版-

EMC技術分科会の委員企業の技術者の執筆により、EMC全般(電気回路、高周波、伝送、規則、規格、略語)に関する用語を簡潔にまとめたもので、これからEMCに関係される設計者や試験技術者にとっての手引き書となるものです。

価 格	会員 2,200円 (本体価格 2,000円) 非会員 2,860円 (本体価格 2,600円)
発 行 日	2013年4月1日
体 裁	A5判 284頁 製本

◆ UL規格実用ガイドライン UL6500/60065 PAG(翻訳版)

UL規格UL6500, 60065, 60950の解説書『Practical Application Guideline(PAG)』を翻訳、編集し、『UL規格実用ガイドラインUL6500/60065PAG(翻訳版)』としてまとめたものです。

価 格	会員 6,820円 (本体価格 6,200円) 非会員 - (日本規格協会よりお求めください)
発 行 日	2011年9月
体 裁	A4判 38頁 製本

◆ UL規格実用ガイドライン UL60950 PAG(翻訳版)

UL規格UL6500, 60065, 60950の解説書『Practical Application Guideline(PAG)』を翻訳、編集し、『UL規格実用ガイドラインUL60950(翻訳版)』としてまとめたものです。

価 格	会員 59,400円 (本体価格 54,000円) 非会員 - (日本規格協会よりお求めください)
発 行 日	2011年9月
体 裁	A4判 423頁 製本

出版物のご案内

◆ IEC対応 安全規格ガイドブック(第2版)-第1版以降に発行されたCTL決定文書-

情報機器(IEC60950-1)、AV機器(IEC60065)、電化機器(IEC60335-1)の最新CTL決定文書について、内容を調査し、各国のCB試験機関間で合意された運用等をまとめたものです。

価 格	会員 6,380円 (本体価格 5,800円)	非会員 8,294円 (本体価格 7,540円)
発 行 日	2010年10月	
体 裁	A4判 68頁 製本	

◆ MIL-STD-461F 2007年

米国軍用機器のEMC規格翻訳版

価 格	会員 33,000円 (本体価格 30,000円)	非会員 49,500円 (本体価格 45,000円)
発 行 日	2008年3月25日	
体 裁	B5判 287頁 製本	

◆ IEC対応 安全規格ガイドブック -CTL決定書の解説を含む-

情報機器(IEC60950-1)、AV機器(IEC60065)、電化機器(IEC60335-1)についてCTL決定文書の中身を製品安全のエキスパートが内容を調べ、製品への影響等をまとめたものです。

価 格	会員 6,380円 (本体価格 5,800円)	非会員 9,570円 (本体価格 8,700円)
発 行 日	2007年6月	
体 裁	A4判 82頁 製本	

お問い合わせ先

一般社団法人KEC関西電子工業振興センター 書籍問い合わせ窓口
E-mail: publication01@kec.jp TEL: 0774-29-9041

会 員 動 向

✿ 新 入 会 員

2024年5月16日現在

入会年月	会員区分	会 社 名	住 所	事業内容・生產品目等
2024年 3月	正会員	株式会社ニッコー	〒669-2145 兵庫県丹波篠山市今田町木津 松山293-3	二輪車用ホーン・ブザー、自動車用ホーン・ブザー、自転車用錠前、金型温調機の製造販売
"	賛助会員	秋田県産業技術センター	〒010-1623 秋田県秋田市新屋町字砂奴寄 4-11	県立試験研究機関
"	正会員	インクス株式会社	〒483-8327 愛知県江南市村久野町平野 199	自動化制御機器の設計開発・製造及び販売等
"	正会員	I-PEX株式会社	〒194-0022 東京都町田市森野1-33-10 町田STビル	コネクタ及びエレクトロニクス機構部品事業他
2024年 4月	正会員	SGSジャパン株式会社	〒240-0005 神奈川県横浜市保土ヶ谷区 神戸町134	各種検査、検証、試験、認証業務
"	正会員	ミヨシ電子株式会社	〒666-0024 兵庫県川西市久代3丁目13番 21号	情報通信機器及び半導体関連製品の開発製造
"	特別会員	三菱電機モビリティ株式会社	〒100-8310 東京都千代田区丸の内2丁目 7番3号	各種電気機械器具、車両機械器具、船舶機械器具等

【正 会 員】 168社

株式会社アート1	株式会社共進電機製作所
アール・ビー・コントロールズ株式会社	株式会社京都科学
アイコム株式会社	京都電測株式会社
株式会社アイシン	株式会社きんでん
愛知時計電機株式会社	株式会社クボタ
IDEC株式会社	株式会社ケーイーアイシステム
株式会社アイピーエス	株式会社小糸製作所
I-PEX株式会社	株式会社高工社
飛鳥メディカル株式会社	コーセル株式会社
株式会社アドバンテスト	株式会社コスモス・コーポレーション
アメテック株式会社	国華電機株式会社
アルプスアルパイン株式会社	株式会社コベルコ科研
株式会社イー・エム・シー・ジャパン	株式会社サワーコーポレーション
株式会社イー・オータマ	株式会社三社電機製作所
株式会社イシカワ	株式会社サン・テクトロ
インクス株式会社	サンデン株式会社
インターテックジャパン株式会社	株式会社サンフレム
株式会社インタフェース	株式会社GSユアサ
株式会社ウインブルヤマガチ	株式会社島津製作所
株式会社Wave Technology	株式会社シマノ
EIZO株式会社	シャープ株式会社
エイミック株式会社	Joyson Safety Systems Japan合同会社
株式会社エスアンドエー	新コスモス電機株式会社
SGSジャパン株式会社	真生印刷株式会社
エスベック株式会社	スペクトロニクス株式会社
株式会社エヌエフ回路設計ブロック	住友精密工業株式会社
合同会社NKYM	セイコーエプソン株式会社
株式会社エフ・エム・アイ	星和電機株式会社
株式会社エムジー	象印マホービン株式会社
株式会社エンベデッドテクノロジー	双信電機株式会社
オーエムプランニング株式会社	ソリッド株式会社
株式会社大阪サイレン製作所	タイガー魔法瓶株式会社
株式会社オートネットワーク技術研究所	ダイキン工業株式会社
沖エンジニアリング株式会社	ダイハツ工業株式会社
オムロン株式会社	株式会社ダイヘン
株式会社オリエントマイクロウェーブ	ダイヤモンドエレクトリックホールディングス株式会社
オリジン工業株式会社	株式会社竹中製作所
加賀FEI株式会社	タチバナテクノス株式会社
加美電子工業株式会社	株式会社ダックス
関西ガスメータ株式会社	多摩川精機株式会社
キーサイト・テクノロジー株式会社	株式会社ティ・アイ・シー
菊水電子工業株式会社	TOA株式会社
北川工業株式会社	ディーシージェイ株式会社
キヤノン株式会社	TDK株式会社
株式会社キューセス	株式会社テクトロン

株式会社テクノサイエンスジャパン	ビューローベリタスジャパン株式会社
株式会社デバイス	フィトンチッドジャパン株式会社
テュフ ラインランド ジャパン株式会社	富士インパルス株式会社
テュフズードジャパン株式会社	富士フィルム ビジネス イノベーション株式会社
寺崎電気産業株式会社	船井電機株式会社
株式会社テラモト	プライム プラネット エナジー & ソリューションズ株式会社
株式会社デンケン	プライムアースEVエナジー株式会社
株式会社電研精機研究所	古野電気株式会社
株式会社デンソー EMCエンジニアリングサービス	株式会社放送通信機器
株式会社デンソーテン	北陽電機株式会社
東海電装株式会社	ホシデン株式会社
東洋ガスメーター株式会社	星野楽器株式会社
株式会社東陽テクニカ	株式会社ホタルクス
東洋メディック株式会社	ポッシュ株式会社
株式会社トータス	株式会社堀場製作所
株式会社トーヨーコーポレーション	株式会社ミクニ
株式会社戸上電機製作所	三菱重工業株式会社
ナブテスコ株式会社	三菱電機株式会社
ニチコン株式会社	三菱ロジスネクスト株式会社
株式会社ニッコー	ミヨシ電子株式会社
NISSHA株式会社	村田機械株式会社
日新電機株式会社	株式会社村田製作所
日本オートマティック・コントロール株式会社	矢崎総業株式会社
日本航空電子工業株式会社	ヤマハ株式会社
日本シールドエンクロージャー株式会社	山本電機工業株式会社
日本ジッパーチューピング株式会社	株式会社山本電機製作所
日本電音株式会社	ヤンマーホールディングス株式会社
日本電子株式会社	株式会社UL Japan
株式会社ニューライトポタリー	ラトックシステム株式会社
任天堂株式会社	株式会社リード
ネクステム株式会社	株式会社リケン環境システム
株式会社ノイズ研究所	株式会社LIMNO
パーソル エクセル HR パートナーズ株式会社	レシップ株式会社
株式会社ハイレックスコーポレーション	株式会社レスター
白光株式会社	ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社
パナソニック ホールディングス株式会社	ローム株式会社
浜松ホトニクス株式会社	ローランド株式会社
株式会社ピーマックス	ローランド ディー . ジー 株式会社
日立 Astemo 阪神株式会社	ワイエイシイエレックス株式会社

【賛助会員】 40社

あいち産業科学技術総合センター 秋田県産業技術センター 地方独立行政法人岩手県工業技術センター 地方独立行政法人大阪産業技術研究所 岐阜県産業技術総合センター 京都府中小企業技術センター 滋賀県工業技術総合センター 静岡県工業技術研究所 浜松工業技術支援センター 島根県産業技術センター 千葉県産業支援技術研究所 中部エレクトロニクス振興会 一般財団法人直鞍情報・産業振興協会 一般財団法人電気安全環境研究所 株式会社電磁環境試験所認定センター 一般社団法人電子情報技術産業協会 徳島県立工業技術センター 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター 富山県産業技術研究開発センター 長野県工業技術総合センター 名古屋市工業研究所	奈良県産業振興総合センター 一般財団法人日本ガス機器検査協会 一般財団法人日本自動車研究所 公益財団法人日本適合性認定協会 一般社団法人日本電気計測器工業会 一般財団法人日本電子部品信頼性センター 一般財団法人日本品質保証機構 一般社団法人ビジネス機械・情報システム産業協会 兵庫県立工業技術センター 株式会社広島テクノプラザ 一般財団法人VCCI協会 福井県工業技術センター 福岡県工業技術センター 一般財団法人ふくしま医療機器産業推進機構 福島県ハイテクプラザ 三重県工業研究所 公益財団法人南信州・飯田産業センター 地方独立行政法人山口県産業技術センター 山梨県産業技術センター 和歌山県工業技術センター
---	--

【特別会員】 42社

アコース株式会社 E&Cエンジニアリング株式会社 エフティテクノ株式会社 オムロン ソーシアルソリューションズ株式会社 オムロン阿蘇株式会社 オムロンヘルスケア株式会社 株式会社キューヘン サイレックス・テクノロジー株式会社 株式会社ジーエス・ユアサ テクノロジー 株式会社GSユアサ ライティングサービス ダイヤゼブラ電機株式会社 TOAエンジニアリング株式会社 テラメックス株式会社 株式会社東陽EMCエンジニアリング ニチコン亀岡株式会社 ニチコン草津株式会社 パナソニック株式会社 パナソニック インダストリー株式会社 パナソニック エナジー株式会社 パナソニック エンターテインメント&コミュニケーション株式会社 パナソニック オートモーティブシステムズ株式会社	パナソニック オペレーショナルエクセレンス株式会社 パナソニック コネクト株式会社 パナソニック SNエバリュエーションテクノロジー株式会社 パナソニック サイクルテック株式会社 株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所 パナソニック プロダクションエンジニアリング株式会社 株式会社フルノシステムズ ホシデン精工株式会社 株式会社堀場エステック マイクロウェブファクトリー株式会社 三菱重工機械システム株式会社 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 三菱電機エンジニアリング株式会社 三菱電機ディフェンス&スペーステクノロジーズ株式会社 三菱電機モビリティ株式会社 矢崎エナジーシステム株式会社 矢崎部品株式会社 ヤンマーアグリ株式会社 ヤンマーエネルギーシステム株式会社 ヤンマーパワーテクノロジー株式会社 ラボテック・インターナショナル株式会社
--	---

備考：会員一覧についてはKECにて一般の閲覧に供しております。

新型コロナウイルス感染症の対応のため感染拡大状況によっては開催を中止、または延期させていただく場合がございます。

2024年度 KEC行事予定・実績

2024年7月

月	日	曜日	行事名	備考(会場等)
2024年 5	16 17	木 金	第274回理事会 次世代ワイヤレス技術講座①	オンライン開催
6	6 12 13 14 19 20 24 25 26 27	木 水 木 金 水 木 月 火 水 木	iNARTE EMC講習会① 2024年度第1回EMC設計技術者講習会① iNARTE EMC講習会② 第65回通常総会 2024年度第1回EMC設計技術者講習会② iNARTE EMC講習会③ iNARTE PS受験講習会① iNARTE PS受験講習会② 2024年度第1回EMC設計技術者講習会③ iNARTE EMC講習会④	オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催
7	4 10 11 12 19 26	木 水 木 金 金 金	iNARTE EMC講習会⑤ iNARTE EMC講習会⑥ 設計者向けEMC技術講座① KECセミナー 次世代ワイヤレス技術講座② 設計者向けEMC技術講座②	オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催
8	23 27 30	金 火 金	2024年度第1回EMC設計技術者資格試験 設計者向けEMC技術講座③ iNARTE PS資格試験	オンライン試験 オンライン開催 オンライン試験
9	6 13 20 27	金 金 金 金	設計者向けEMC技術講座④ 製品安全基本教育講座① 次世代ワイヤレス技術講座③ 製品安全基本教育講座②	オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催
10	3 4 10 17 23 24 25 25 25	木 金 木 木 水 木 金 金 金	第204回運営部会 EMC関西2024 2024年度第1回アドバイザー委員会 第275回理事会 設計者向けEMC技術講座⑤ EMC試験法講習会(座学) EMC試験法講習会(実習:車載機器コース) EMC試験法講習会(実習:民生機器コース) 製品安全基本教育講座③ 2024年度第2回EMC設計技術者講習会①	ハイブリッド開催(CIVI研修センター新大阪東) オンライン開催 けいはんなプラザ けいはんな試験センター けいはんな試験センター オンライン開催 オンライン開催
10月				
11	6 8 8 15 18 29	水 金 金 金 月 金	iNARTE EMC資格試験 iNARTE EMC資格試験 設計者向けEMC技術講座⑥ 次世代ワイヤレス技術講座④ 設計者向けEMC技術講座⑦ 製品安全基本教育講座④ 光・電波フォーラム 2024年度第2回EMC設計技術者講習会②、③	オンライン試験 オンライン試験 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催(2日)
11月 11月				
12	6 18 20	金 水 金	設計者向けEMC技術講座⑧ 設計者向けEMC技術講座⑨ 製品安全基本教育講座⑤	オンライン開催 オンライン開催 オンライン開催
2025年 1	8 17 21 24	水 金 火 金	関西電子業界新年賀詞交歓会 次世代ワイヤレス技術講座⑤ 2024年度第2回EMC設計技術者資格試験 設計者向けEMC技術講座⑩ KECテクノフォーラム	NCB会館 オンライン開催 オンライン試験 オンライン開催 オンライン開催
1月				
2	5 7 12 13	水 金 水 木	設計者向けEMC技術講座⑪ 製品安全基本教育講座⑥ 設計者向けEMC技術講座⑪(実習) 設計者向けEMC技術講座⑪(実習) KEC製品安全フォーラム	オンライン開催 オンライン開催 東京 東京 ハイブリッド開催(会場未定)
2月				
3	6 13 21 21	木 木 金 金	第205回運営部会 2024年度第2回アドバイザー委員会 第276回理事会 次世代ワイヤレス技術講座⑥	オンライン開催

K E C 情 報 No. 270

2024年7月1日 発行

本誌記事からの無断転載、無断引用を禁じます。

発 行	一般社団法人KEC関西電子工業振興センター
発行責任者	専務理事 柳川 良文
編 集 委 員	坂口 申康(株式会社島津製作所) 岩本 篤(パナソニック ホールディングス株式会社) 峯 啓治(ホシデン株式会社) 加藤 千晴(株式会社村田製作所)
事 務 局	時岡 秀忠 岸本 隆 奥野 美郷
印 刷	株式会社昭和プリント



KEC Electronic Industry Development Center



一般社団法人KEC関西電子工業振興センター

<https://www.kec.jp/>



〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台3丁目2番地2

TEL:0774-93-4563 FAX:0774-93-4564