

2025 年 2 月 12 日

国立研究開発法人情報通信研究機構
旭化成株式会社

高強度深紫外 LED により鉄道車両内の省電力な空気殺菌を実現

【ポイント】

- 発光波長 265 nm 帯の高強度深紫外 LED を搭載した鉄道車両用空気殺菌モジュールを開発
- 水銀ランプを用いたモジュールと比較し、殺菌の省電力化(40 %以上)を達成
- 実運行中の鉄道車両内への搭載を実証、国民の健康と安全の確保、水銀廃絶、CO₂ 削減に貢献

国立研究開発法人情報通信研究機構エヌアイシーティー(NICT、理事長: 徳田 英幸)未来 ICT 研究所の井上振一郎室長らの研究グループは、旭化成株式会社(代表取締役社長: 工藤 幸四郎)と共同で、発光波長 265 nm 帯の高強度深紫外 LED^{*1} を搭載した鉄道車両用空気殺菌モジュールを開発し、静岡鉄道株式会社の実運行中の鉄道車両内への搭載を実証しました。

今回開発した高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールは、従来技術の水銀ランプ^{*2}を使用したモジュールと比較し、空气中を浮遊するウイルスの不活性化に要する電力の大幅な削減(40 %以上)を達成しました。本モジュールは、実際に旅客運転を行っている鉄道車両へ搭載され、1 か月間の試験運転を実施し、安全・安定な動作が確認されました。

本成果は、高強度深紫外 LED 技術により、鉄道車両内の省電力な空気殺菌を実現したものです。空气中を浮遊するウイルスを介したエアロゾル感染の脅威から国民の健康と安全を守り、また水銀廃絶による環境汚染防止や、省電力化による CO₂ 削減に貢献する技術として期待されます。

※本成果の一部は、環境省主管(総務省連携)委託事業「革新的な省 CO₂ 型環境衛生技術等の実用化加速のための実証事業」の一環として得られました。

【背景】

NICT の当研究グループは、これまで、高強度な深紫外 LED の研究開発とその実用化に向けた取組を積極的に推進してきました。ナノ光構造技術を基盤とした AlGaIn 系^{*3} 深紫外 LED の研究により、深紫外 LED の単チップ当たりの世界最高出力の記録を何度も大幅に更新し、水銀ランプに匹敵する、ワット級の深紫外 LED ハンディ照射機を開発するなど、本分野をリードする成果を発表してきました(2022 年 10 月 27 日、2017 年 4 月 4 日及び 2015 年 4 月 1 日の報道発表参照)。

また NICT は、ナノ光構造技術により、世界で初めて、配光角を制御できる深紫外 LED の開発に成功しており、高コストのレンズや光学部品を用いることなく、照射が必要な箇所だけに、安全性高く、効率的に深紫外光を照射できる技術の開発に成功しています(2023 年 11 月 1 日の報道発表参照)。

さらに NICT は、東京大学医科学研究所と共同で、発光波長 265 nm 帯の深紫外 LED が、エアロゾル中の新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)に対して、極めて高い不活性化効果を有することを世界で初めて定量的に明らかにしています(2022 年 3 月 18 日の報道発表参照)。

これにより、深紫外 LED は、空気中を浮遊するウイルスを介したエアロゾル感染による感染拡大を抑制するための画期的なツールになると期待されています。

近年、公共交通機関における衛生管理の重要性がますます高まっています。特に、鉄道車両のような多数の人々が密閉された空間で長時間を過ごす環境では、エアロゾル感染のリスクを低減することが喫緊の課題となっています。さらに、持続可能な社会の実現に向けて、環境負荷や消費電力の少ない殺菌技術の開発が期待されています。



図 1 今回開発した高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールを搭載した鉄道車両

深紫外線による殺菌応用では、従来、光源として水銀ランプが使用されてきました。しかし、人体や環境に有害な水銀を含むため、その早期廃絶が求められています。また、水銀ランプは、割れやすく、光源のサイズや駆動電源が大掛かりになるなど、鉄道車両へ搭載するような用途には適していませんでした。

一方、深紫外 LED は、小型・低環境負荷・長寿命などの優れた特性を有するものの、これまで、水銀ランプに比べると光出力がはるかに小さなものしかなく、鉄道車両のような広い空間内の空気を殺菌しようとした場合、その実用性に課題がありました。

今回、これらの課題を解決するため、水銀ランプに匹敵する高強度深紫外 LED 技術を有する NICT と、深紫外 LED の量産やアプリケーション開発において実績を有する旭化成が共同で、鉄道車両用の低環境負荷・省電力な高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールの開発を行いました。

【今回の成果】

今回開発した高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールを搭載した静岡鉄道株式会社の鉄道車両を図 1 に示します。本モジュールは、小型・軽量の深紫外 LED の特長を活かし、車両連結部の上部(かもい)内部にコンパクトに搭載され、車両内のウイルスを含む空気を吸入し、モジュール内で深紫外光照射により不活性化後、清浄な空気を排出します(補足資料 図 2 参照)。

本モジュールは、殺菌効率の最も高い発光ピーク波長 265 nm 帯の高強度深紫外 LED チップをマルチチップ実装し、流入する空気の方角と対向するように配置することで、空気中のウイルスと深紫外光の相互作用を最大化しています(補足資料 図 3 参照)。水銀ランプと比較して、指向性の高い LED の特性を活かし、流入するウイルスを効率的に不活性化する構造を実現しました。

本モジュールの効果を検証するため、空気中を浮遊するウイルスに対する不活性化性能を評価しました⁴。25 m³の空間中に試験用ウイルス(大腸菌ファージ MS2⁵)を、ネブライザー(エアロゾル発生器)を用いて噴霧し、モジュールの消費電力量及び稼働時間に対するウイルス不活性化量をプラーク法⁶により測定しました。また、比較用として低圧水銀ランプを使用した参照用モジュールを製作し、同様の実験を行いました。

ウイルス不活性化に必要な消費電力量について評価した結果、高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールは水銀ランプを用いたモジュールに比べ、99.9 %のウイルス不活性化に要する消費電力量を 40.7 %削減できることが確認されました(補足資料 図 4 参照)。

本モジュールは、実際に旅客運転を行っている静岡鉄道株式会社の鉄道車両へ搭載され、1 か月間の試験運転を通じて、安全かつ安定した動作が確認されました。

また、500mW 出力の深紫外 LED を複数個搭載した同型の別モジュールを使用し、35 分の稼働で 90 %、71 分の稼働で 99 %、106 分の稼働で 99.9 %のウイルスが不活性化されることが確認されました(補足資料 図 5 及び表 1 参照)。一方、水銀ランプを用いたモジュールでは、99.9 %の不活性化に 188 分を要しました。これにより、今回開発した高強度深紫外 LED モジュールが、水銀ランプに比べて、不活性化に要する時間を 43.6 %短縮できることを明らかにしました。

今回の成果は、高強度深紫外 LED 技術を活用し、鉄道車両内での省電力な空気殺菌を実現したものです。本技術は、空気中のウイルスを介したエアロゾル感染のリスクを低減し、国民の健康と安全を守るとともに、水銀廃絶による環境汚染防止や、省電力化による CO₂ 削減にも寄与することが期待されます。

【今後の展望】

今後、NICT 及び旭化成は、今回実証した高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールの社会実装に向けて、関連企業との連携を含めた取組を推進していきます。特に、公共交通機関や医療施設など、空気感染リスクの高い環境への採用、社会普及を目指します。これにより、安全性・快適性を備えた持続可能な社会の実現に貢献していきます。

＜各機関の役割分担＞

- ・情報通信研究機構: 高強度深紫外 LED の開発・実装、全体統括
- ・旭化成: モジュール化、現地試験運用

＜関連する NICT の過去のプレスリリース＞

- ・2023 年 11 月 1 日「世界初、光の配光角を制御できる深紫外 LED の開発に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2023/11/01-1.html>
- ・2022 年 10 月 27 日「世界初、ワット級高出力動作の深紫外 LED 小型ハンディ照射機の開発に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2022/10/27-1.html>
- ・2022 年 3 月 18 日「高出力深紫外 LED (265nm 帯)によりエアロゾル中の新型コロナウイルスの高速不活性化に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2022/03/18-1.html>
- ・2017 年 4 月 4 日「150mW 超 (発光波長 265nm)世界最高出力の深紫外 LED の開発に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2017/04/04-1.html>
- ・2015 年 4 月 1 日「世界最高出力 (90mW 超)の深紫外 LED の開発に成功」
<https://www.nict.go.jp/press/2015/04/01-2.html>

＜ 本件に関する問合せ先 ＞

国立研究開発法人情報通信研究機構
未来 ICT 研究所 神戸フロンティア研究センター
深紫外光 ICT 研究室
井上 振一郎
E-mail: s_inoue@nict.go.jp

＜ 広報（取材受付） ＞

国立研究開発法人情報通信研究機構
広報部 報道室
E-mail: publicity@nict.go.jp

旭化成株式会社
広報部 報道室
E-mail: ak-houdou@om.asahi-kasei.co.jp

<用語解説>

*1 深紫外 LED

おおむね 200～300 nm の波長帯(深紫外領域)の光を発する半導体発光ダイオード(LED: light-emitting diode)のこと。深紫外光を照射することにより、塩素などの薬剤を用いずに、ウイルスや細菌を効果的に殺菌・不活性化することができる。特に、265 nm 帯の深紫外光は、その発光波長ピークが DNA/RNA の吸収ピークと重なるため、ウイルスの不活性化に対して最も効果的である。深紫外 LED のウイルス不活性化用途における実用化の際には、人体への安全性を確保するために、皮膚や目への直接の照射を避ける運用が必要である。

なお、今回開発した深紫外 LED 空気殺菌モジュールは、筐体外への深紫外光の漏れ光は暴露限界である $0.10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以下になるよう設計・作製され、旅客車両においても、安全に使用可能である。

*2 水銀ランプ

水銀ガスを閉じ込めたガラス管内でアーク放電を起こし発光させる光源。254 nm や 365 nm などの輝線を発し、深紫外領域における最も代表的な光源で、様々な産業、用途において用いられている。しかし、2017 年に「水銀に関する水俣条約」が発効され、人体・環境に有害な水銀の削減・廃絶に向けた国際的な取組が加速している。

*3 AlGaIn(窒化アルミニウムガリウム)

窒化アルミニウム (AlN) と窒化ガリウム (GaN) の混晶からなる III 族窒化物半導体。直接遷移型の超ワイドバンドギャップ半導体であり、AlN と GaN の混晶組成比を変えることで、その発光波長を深紫外領域のほぼ全域 (210～365 nm) で任意に制御することが可能である。

*4 空気中を浮遊するウイルスに対する不活性化性能評価方法

評価方法は、日本電機工業会規格 JEM1467(附属書 D: 浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験)に準拠し、外部検査機関で実施した。

*5 大腸菌ファージ MS2

大腸菌ファージ MS2 は、大腸菌に感染する RNA ウイルス。日本電機工業会規格 JEM1467(附属書 D: 浮遊ウイルスに対する除去性能評価試験)で例示されたウイルスの一種。

*6 プラーク法

ウイルスに感染した細胞の形状が変化する現象を利用したウイルス量の測定手法の一つ。

今回開発した鉄道車両用の空気殺菌モジュール

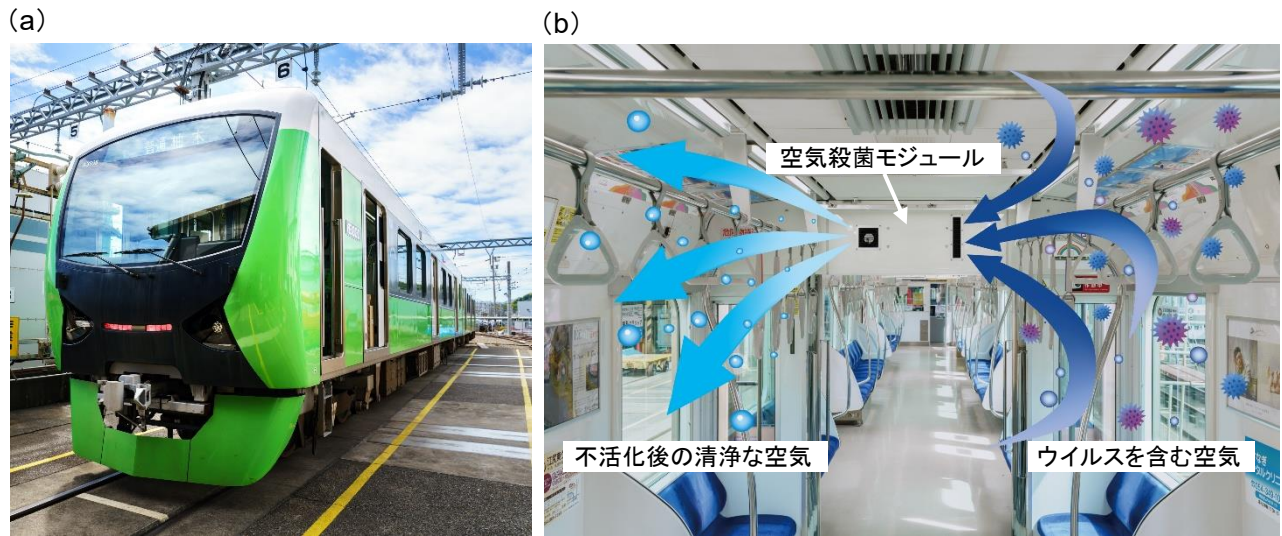


図 2 (a) 高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールを搭載した鉄道車両
(b) 車両内に搭載されたモジュール

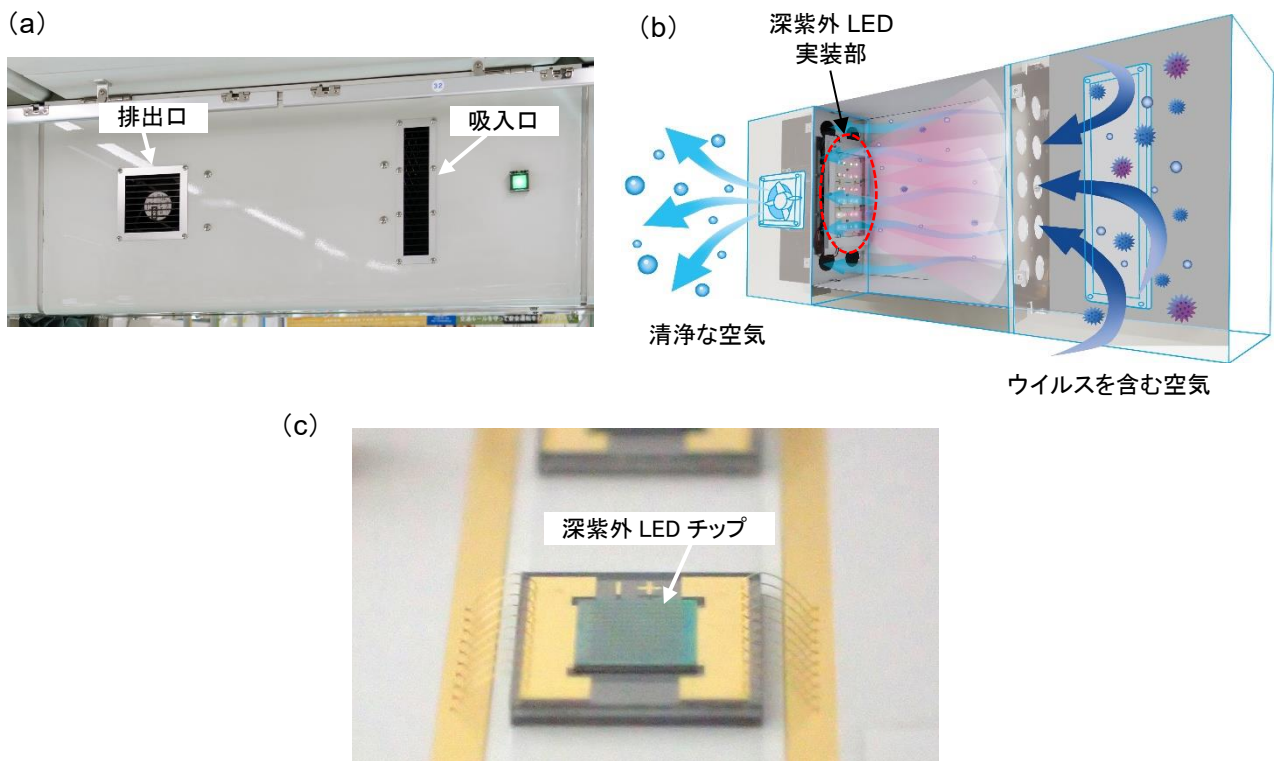


図 3 (a) 高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールの外観
(b) モジュール内部の構造 及び (c) 高強度深紫外 LED チップの拡大写真

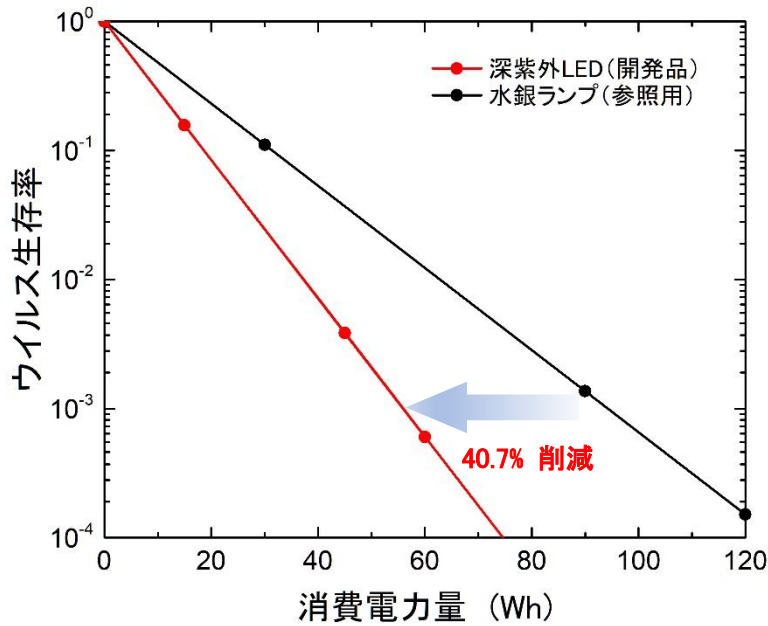


図4 25 m³空間内の浮遊ウイルス(大腸菌ファージ MS2)の不活性化に必要な消費電力量

試験用ウイルスである大腸菌ファージ MS2 の菌液を 25 m³(縦 3.5 m×横 3.3 m×高さ 2.2 m)の空間にネブライザーを用いて噴霧し、空間中を浮遊するエアロゾルウイルスに対する不活性化効果をブランク法により評価しました。

消費電力量に対する浮遊ウイルスの不活性化効果測定においては、深紫外 LED を用いたモジュールの場合、LED は 4×6 アレイの高効率モード(WPE 4.5 %、発光ピーク波長 265 nm)で駆動、トータル消費電力 15 W で動作させ、参照用の水銀ランプを用いたモジュールの場合、市販品低圧水銀ランプ(岩崎電気、GL15、定格ランプ電力 15 W、主波長 254 nm)を 2 本使用しトータル消費電力 30 W で動作させました。

最も殺菌性の高い波長 265 nm 帯、高強度・高効率深紫外 LED の特性を活用し、かつ流入するウイルスと深紫外光の相互作用を最大化する構造とすることで、今回開発した高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールが、水銀ランプに比べて、99.9 %のウイルス不活性化に要する消費電力量を、40.7 %削減できることを明らかにしました。

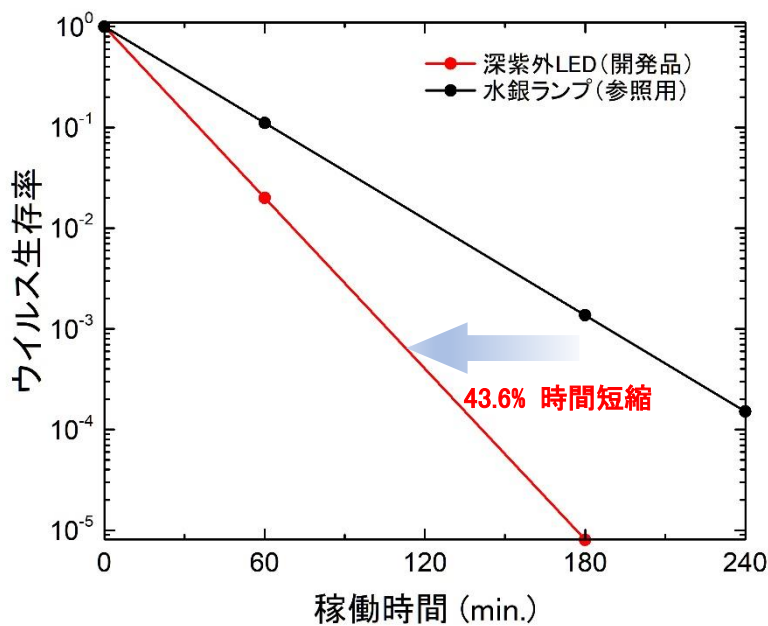


図5 モジュール稼働時間に対する 25 m³空間内の浮遊ウイルス(大腸菌ファージ MS2)の不活性化効果

表 1 空気殺菌モジュール稼働時間と大腸菌ファージの不活性化率との関係

空気殺菌モジュール		ウイルス不活性化率(%)		
		90%	99%	99.9%
稼働時間 (分)	深紫外 LED	35 分	71 分	106 分
	水銀 ランプ	63 分	126 分	188 分

稼働時間に対する浮遊ウイルスの不活性化効果測定においては、深紫外 LED を用いたモジュールの場合、深紫外 LED チップ(光出力 500 mW、発光ピーク波長 265 nm)を 3 チップ使用しトータル光出力 1.5 W で動作させ(図 4 のモジュールとは同型の別モジュール)、参照用の水銀ランプを用いたモジュールの場合、市販品低圧水銀ランプ(岩崎電気 GL15、定格光出力 4.9 W、主波長 254 nm)を 2 本使用しトータル光出力 9.8 W で動作させました。

最も殺菌性の高い波長 265 nm 帯、ワット級の高強度深紫外 LED を活用し、かつ、流入するウイルスを効率的に不活性化する照射構造を実現することで、今回開発した高強度深紫外 LED 空気殺菌モジュールが、水銀ランプに比べて、不活性化に要する時間を 43.6 %短縮できることを明らかにしました。