

低コストで外部から測定可能な インバータ寿命診断技術

九州工業大学 大学院工学研究院
電気電子工学研究系
准教授 長谷川 一徳

大容量インバータ

電気の形(電圧・周波数・直流/交流)を自在に変えて、
電気を作る, 送る, 使う, を便利に効率よく。



家庭用パワー
コンディショナ
10 kW



電気自動車
100 kW



鉄道車両
1,000 kW



産業用モータ駆動



再生可能エネルギー



直流送電
周波数変換

10,000 kW

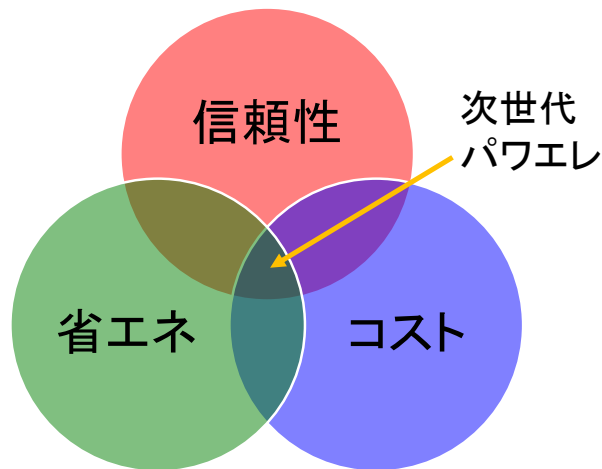
インバータはインフラを支える根幹技術

市場拡大(年率10%)に伴うインバータ導入数の急増
→信頼性向上の要求

インバータの高信頼化に向けて

	キャパシタ	プリント基板	パワー半導体	ハンダ
故障要因に占める割合[1]	30%	26%	21%	13%
劣化サイクル	10年程度	20～30年	20～30年	20～30年
故障頻度 (半田を1として)	6	2.6	2	1

[1] E. Wolfgang, "Examples for failures in power electronics systems," ECPE Tutorial Reliability Power Electronic Systems, Apr. 2007.



キャパシタ寿命診断が最重要課題

ただし、普及には導入コスト低減が必要

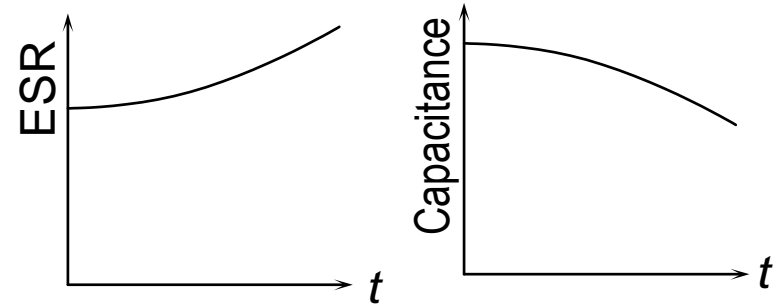
次世代パワエレの目指す領域

従来技術1とその問題点

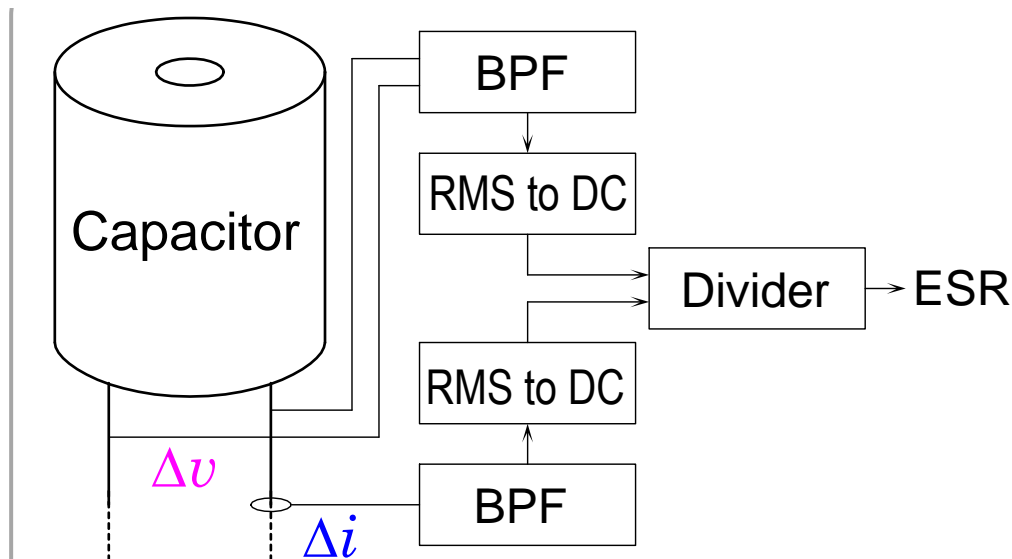
キャパシタの劣化診断



等価直列抵抗(ESR)と キャパシタンス変化モニタリング



ESRモニタリング基本原理



P. Venet, F. Perisse, M. H. El-Husseini, and G. Rojat, "Realization of a smart electrolytic capacitor circuit," *IEEE IA. Mag.*, vol. 8, no. 1, pp. 16-20, Jan./Feb. 2002.

リップル電圧・電流の振幅を使用したESRモニタリング手法が多数報告

・スイッチング電源

K. Harada, A. Katsuki, and M. Fujiwara, "Use of ESR for deterioration diagnosis of electrolytic capacitor," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 8, no. 4, pp. 355-361, 1993.

・UPS

K. Abdennadher, P. Venet, G. Rojat, J. M. Retif, and C. Rosset, "A Real-Time Predictive-Maintenance System of Aluminum Electrolytic Capacitors Used in Uninterrupted Power Supplies," *IEEE Trans. Ind. Appl.* vol. 46, no. 4, 2010.

...etc

従来技術2~3とその問題点

従来技術2

白石康裕, 池田克司, 田村静里, 金原義彦「次世代省エネインバータFREQROL-F700シリーズ」, 三菱電機技報, 2005年3月

モータが接続された状態で停止中に電源をOFFし, モータに直流電圧を印加することでキャパシタンスを測定

➡ キャパシタンスのみ測定
オンラインモニタリング不可


従来技術3

特開2013-66299, 電動機駆動用装置及び冷凍サイクル装置, 三菱電機

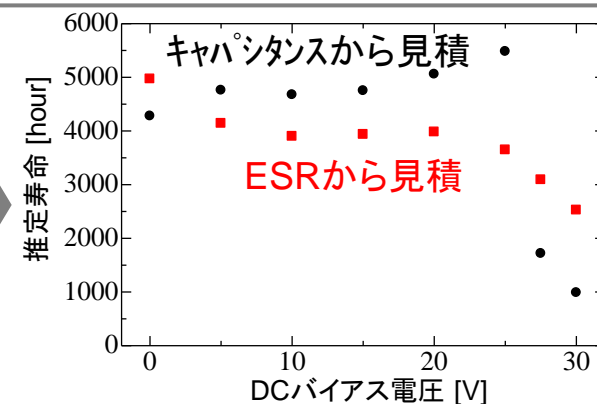
キャパシタのリプル電流をセンサレスで演算し, ESRをオンラインでモニタリングを実現

➡ ESRのみ測定

申請者の先行技術



被測定コンデンサ
シリコンオイル
オイルバス(85°C一定)
加速劣化試験

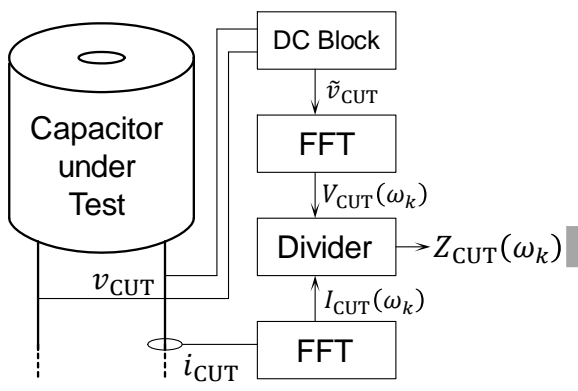


推定寿命 [hour]
DCバイアス電圧 [V]
キャパシタンスから見積
ESRから見積

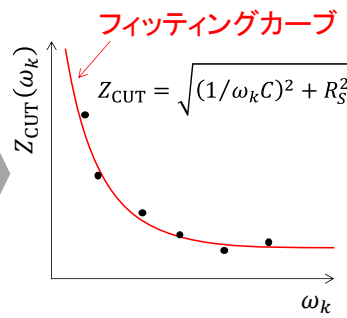
従来のESR測定だけでは、故障を見逃す危険性がある！

キャパシタンスのモニタリングも同時に必要

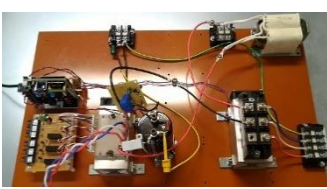
[1] K. Hasegawa, K. Tsuzaki, S. Nishizawa, "DC-bias-voltage dependence of degradation of aluminum electrolytic capacitors," *Microelectron. Rel.*, Mar. 2018.



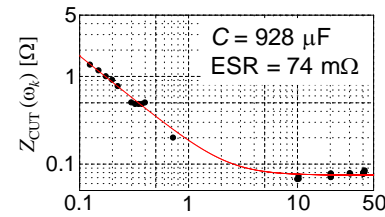
Capacitor under Test
DC Block
FFT
Divider
FFT
 $Z_{CUT}(\omega_k)$ 抽出ブロック図



フィッティングカーブ
 $Z_{CUT} = \sqrt{(1/\omega_k C)^2 + R_s^2}$
 $Z_{CUT}(\omega_k)$ プロファイル



試作インバータ



実験結果
 $C = 928 \mu F$
 $ESR = 74 m\Omega$

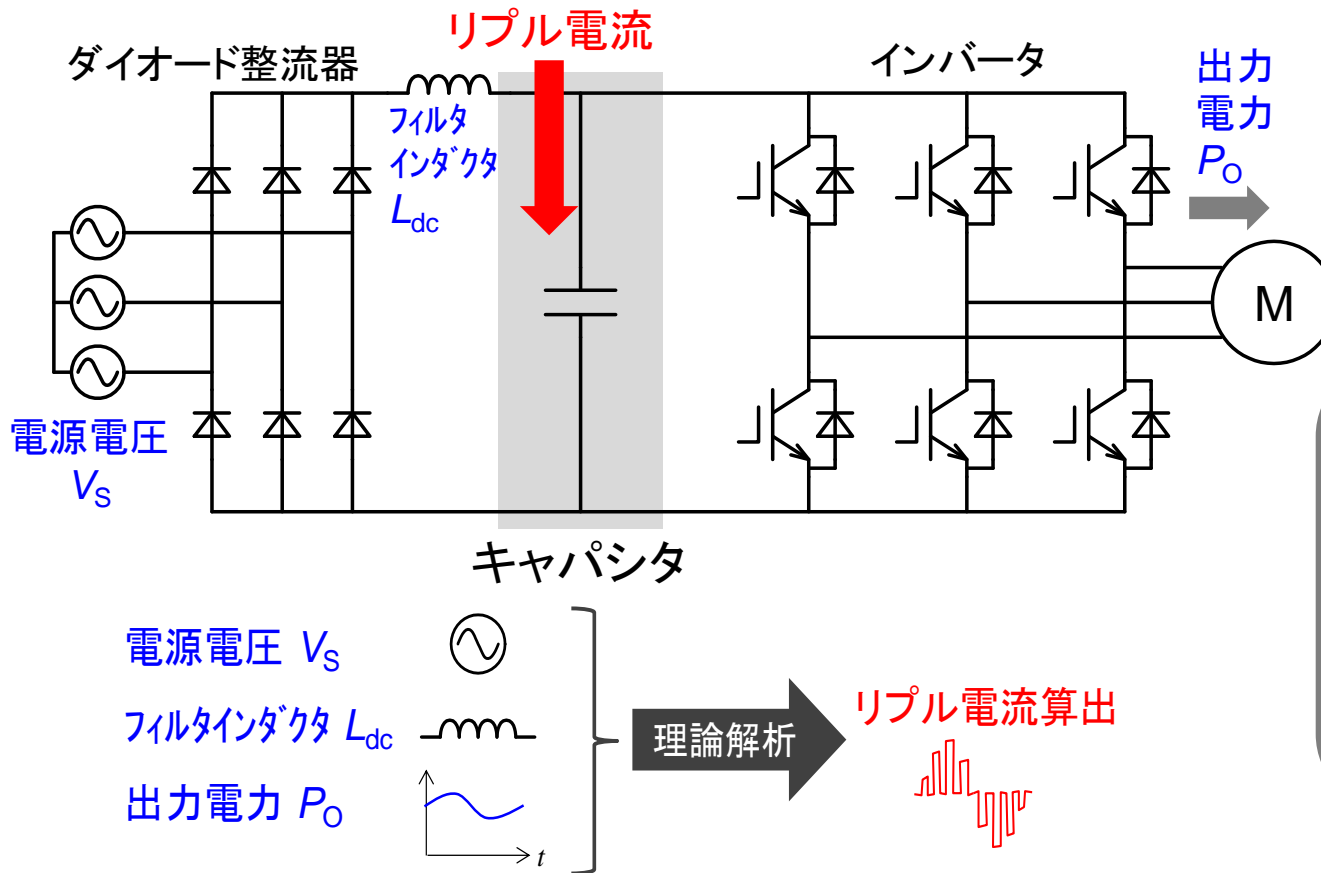
電流センサを使用して ESR/キャパシタンスの独立モニタリングに成功！

[2] K. Hasegawa, S. Nishizawa, and I. Omura, "ESR and capacitance monitoring of a dc-link capacitor used in a three-phase PWM inverter with a front-end diode rectifier," *Microelectron. Rel.*, Sep. 2018.

新技術：電流センサレス・モニタリング

従来：モニタリング技術は高価なセンサありきで構築→普及の障害

➡ 本提案：センサレス・低コストモニタリング



特長

複雑な配線構造の
改造が不要

- ・配線の再設計不要
- ・既設インバータにも導入可能

新技術の特徴・従来技術との比較

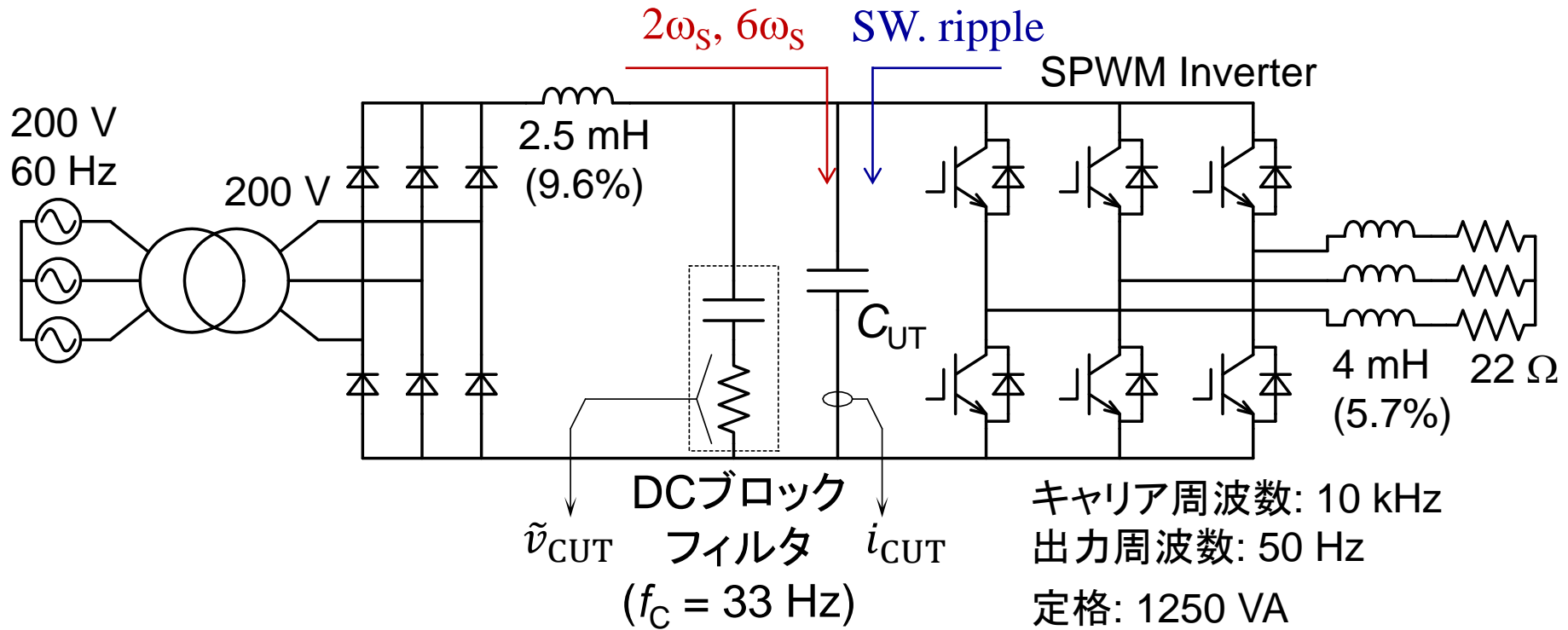
	従来技術1	従来技術2	従来技術3	新技術
ESR測定	Yes	No	Yes	Yes
キャパシタンス測定	No	Yes	No	Yes
リアルタイム	Yes	No	Yes	Yes
電流センサ	必要	不要	不要	不要

[競合技術1] P. Venet, et.al., “Realization of a smart electrolytic capacitor circuit,” IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 8, no. 1, pp. 16–20, Jan./Feb. 2002.

[競合技術2] 白石康裕ほか, 「次世代省エネインバータFREQROL-F700シリーズ」, 三菱電機技報, 2005年3月

[競合技術3] 特開2013-66299, 三菱電機

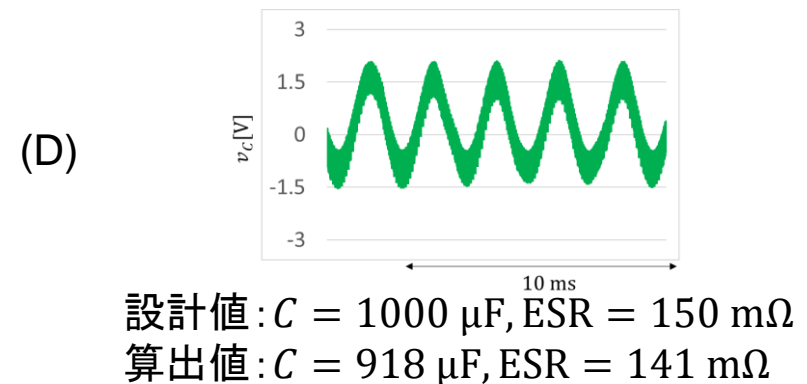
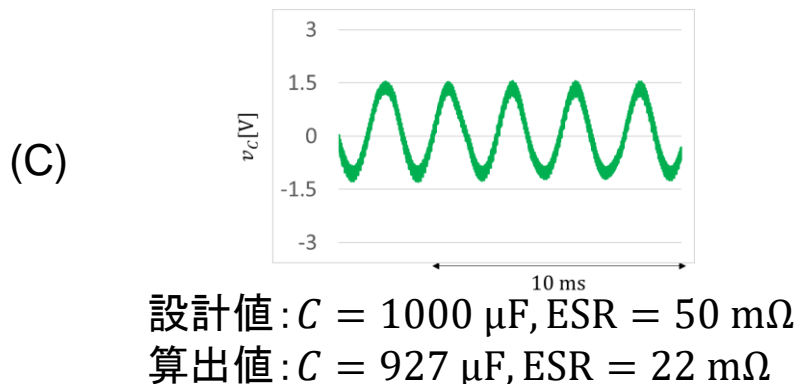
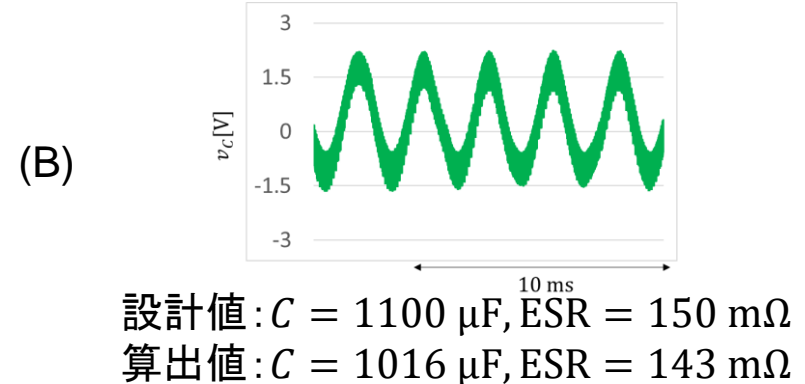
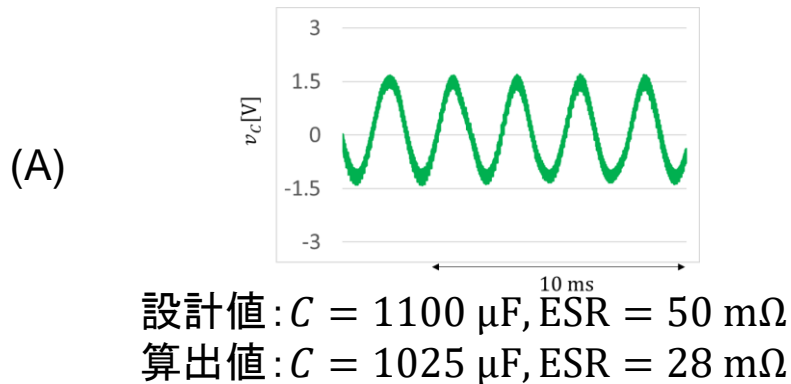
回路シミュレーションによる基礎検討



実験条件

- Condition A: $C_{UT} = 1100 \mu\text{F}$ & 50 m Ω
- Condition B: $C_{UT} = 1100 \mu\text{F}$ & 150 m Ω (ESR増加)
- Condition C: $C_{UT} = 1000 \mu\text{F}$ & 50 m Ω (キャパシタンス低下)
- Condition D: $C_{UT} = 1000 \mu\text{F}$ & 150 m Ω

シミュレーションでのキャパシタンス・ESR導出



キャパシタンスとESR双方の抽出

久保司・長谷川一徳:「ダイオード整流器・PWMインバータシステムにおける直流リンクコンデンサの電流センサレスモニタリング」, 電気学会研究会資料, PE-21-038,PSE-21-051,SPC-21-090 (2021)

想定される用途



発電所・電力設備
冷却系ポンプ



化学プラント
冷却系ポンプ



石油・ガス分野 コンプレッサ



水処理施設 ポンプ

実用化に向けた課題

- 電圧検出の高精度化
 - 繰り返し測定による平均化処理
- FFT演算等の低コスト化
 - キャパシタ劣化スピードは遅く、データ演算時間は必要としない点を利用
 - クラウドを活用

企業への期待

- 新設・既設インバータへ適用可能
 - インバータ高信頼化
 - インフラ用など停止できないインバータにも利用可能
- 信頼性向上 & 低コスト化の両立
 - 寿命診断技術の普及拡大

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : キャパシタ寿命診断装置及び
キャパシタ寿命診断方法
- 出願番号 : 特願2020-186497
- 出願人 : 九州工業大学
- 発明者 : 長谷川 一徳

産学連携の経歴

- 2016~2019年度 A社との受託研究実施
- 2019年度 B社との受託研究実施
- 2020~2021年度 C社団法人との共同研究実施
- 2021~2023年度 NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業に採択(代表)
- 2021~2026年度 文部科学省 令和3年度革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業に採択(日本ケミコン社ほか)(分担)

お問い合わせ先

国立大学法人九州工業大学
オープンイノベーション推進機構 産学官連携本部
知的財産部門 コーディネーター
尾崎 正(オザキ タダシ)

TEL:093-884-3499

FAX:093-884-3531

e-mail:chizai@jimu.kyutech.ac.jp