



スマートエネルギー技術 研究センター



Research Center for
**Smart Energy
Technologies**
Toyota Technological Institute



学校法人 トヨタ学園
豊田工業大学
進むなら、足跡のない方へ。



学長
保立 和夫

次世代スマートエネルギー技術を目指した学際・融合研究の展開

本学では、機械システム、電子情報、物質工学分野を専門とする研究室が研究・教育を展開し、各分野でのフロンティア開拓と学術基盤の深化を図っています。これら活動に並走させ、本学は研究分野間の学際・融合領域における新たな工学の創成も目指していて、4つの研究センターを設置しております。

2012年に開設したスマートエネルギー技術研究センターでは、持続可能な社会の実現に資する新たなエネルギー技術の創成を目指した研究を展開しています。太陽光発電などの再生可能エネルギーの創出技術、エネルギーの効率的な変換や損失の少ない貯蔵技術、そして、エネルギーの利用効率を高める制御技術などの研究開発です。産業界との連携や国際的な連携を推進して当該技術の進展に寄与するとともに、次代を担う人材の育成にも努めています。皆さまのご支援とご鞭撻をお願い申し上げます。



センター長
大下 祥雄

脱炭素社会の実現をめざして

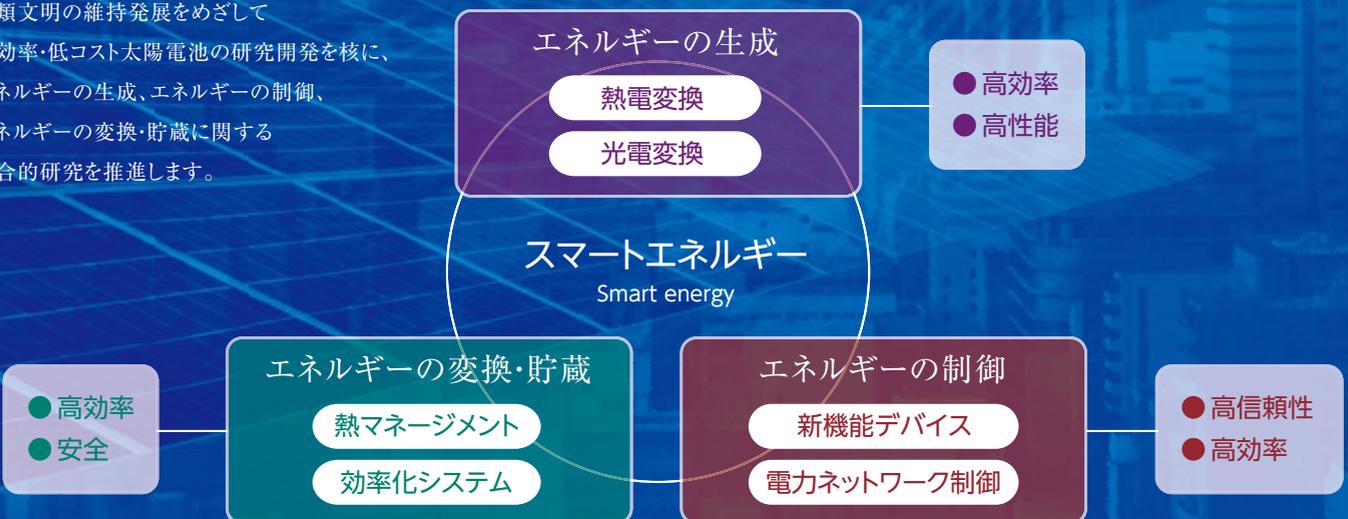
温室効果ガス排出量を削減し、さらには化石燃料枯渇問題を解決した持続可能な脱炭素社会を実現するには、現在の多くの課題を解決するとともにイノベーションを通じた地球環境にやさしい新たなエネルギーシステムを構築することが必須です。

本センターでは、これまで培ってきた高効率・低コストな次世代太陽電池、高効率な熱電変換材料、高効率なGaNパワーデバイスなどの研究開発を核に、本学教員の知恵を結集し、エネルギー生成、エネルギー制御、エネルギーの変換・貯蔵に関する研究を統合的に進めます。

関連する産学官とも連携しながら幅広い領域に渡る研究開発を精力的に進め、地域再生を含むスマートな脱炭素社会の早急な実現、当該分野において国際的に活躍できる次の世代を担う人材の育成に努める所存です。

S U M M A R Y 【スマートエネルギー技術研究センター 概要】

クリーンエネルギーで
人類文明の維持発展をめざして
高効率・低コスト太陽電池の研究開発を核に、
エネルギーの生成、エネルギーの制御、
エネルギーの変換・貯蔵に関する
統合的研究を推進します。





エネルギーの生成

エネルギーの生成 WEBページ ▶

半導体研究室

教授 大下 祥雄 講師 小島 信晃

超薄型結晶シリコン太陽電池・材料の研究開発

- 研究テーマ**
- 超薄型結晶シリコン太陽電池
 - 低品位シリコン原料からの高品質結晶成長
 - 多結晶シリコンの欠陥・不純物評価解析

主な研究内容・成果

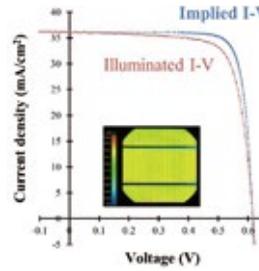
超薄型結晶シリコン太陽電池の研究開発
 薄型基板の使用時の割れを抑制する改良を加えた
 製造ライン(180~230 μm)プロセスによる100 μm 厚さの太陽電池の実現。

高効率集光型太陽電池・材料の研究開発

- 研究テーマ**
- シリコン基板上III-V族化合物太陽電池
 - 低コストIII-V族化合物薄膜太陽電池
 - 高効率多接合太陽電池用新材料
 - 多接合太陽電池・材料の欠陥解析

主な研究内容・成果

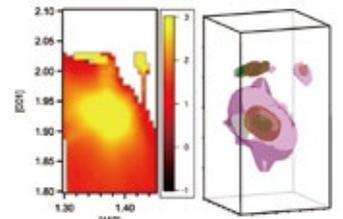
- ① シリコン基板上III-V族化合物太陽電池
- ② 低コストIII-V族化合物薄膜太陽電池



FF	0.744	-Rs
pFF	0.806	-Rsh
FF ₀	0.830	-Rsh
η	16.5 %	-Rs
p- η	17.9 %	-Rsh
η_0	18.4 %	-Rsh



III-Vエピタキシャル層の高速リフトオフ技術



MBE-XRD装置(SPring-8)を用いたその場X線回折測定による歪緩和過程の解明

量子界面物性研究室

教授 神谷 格 助教 ROCA,Ronel Christian

次世代太陽エネルギー変換素子・材料の研究開発

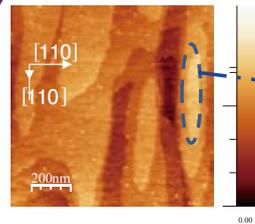
- 研究テーマ**
- 量子構造応用太陽電池
 - 歪格子系太陽電池材料・構造
 - 太陽電池電極改良と局所解析
 - 表面量子構造の基礎と応用
太陽電池と光化学変換素子への展開

主な研究内容・成果

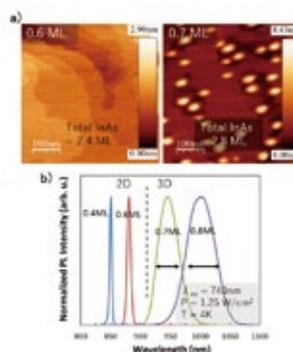
量子井戸島構造による赤外→可視光アップコンバージョン
 ・次世代中間バンド型太陽電池の新提案
 ・新規結晶成長法の開拓
 Submonolayer (SML) 成長法による2D/3Dの精密制御
 ・量子ドットの歪制御と発光制御

表面量子構造・表面改質

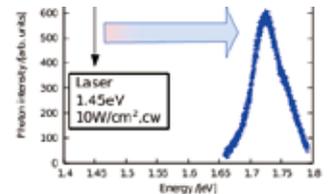
- ・新規パッシベーション被覆法の開拓: 歪のないキャップ
- ・表面量子構造の電子物性制御: 発光特性の大幅な向上



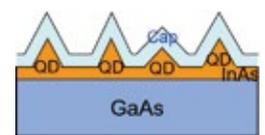
Quantum Well Island: Novel Structure



Control of 2D/3D Structures by SML growth (AFM/PL)



1.45eV photons (855nm) upconverted to 1.72eV (721nm)



Passivation cap for surface quantum dots

エネルギー材料研究室

教授 竹内 恒博 准教授 松波 雅治 助教 平田 圭佑

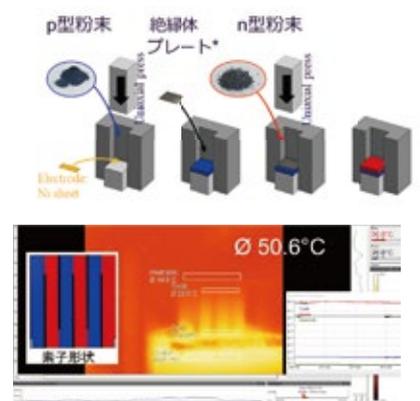
高性能熱電発電素子と熱電値の開発

- 研究テーマ**
- 熱電素子の新規デザイン
 - 熱電素子の高性能化とプロセスコストの低減
 - 革新的熱電値の開発

主な研究内容・成果

- ・複合材料効果を利用して高い熱電変換効率を実現
- ・100 $^{\circ}\text{C}$ 以下の低温プロセスで作製可能な熱電発電素子の開発
- ・フレキシブル無機熱電発電素子の創製
- ・温度差を必要としない環境熱から発電可能な素子の創製

80 $^{\circ}\text{C}$ で作製可能な一体型(チップ型)熱電発電素子の作製プロセスと温度評価の様子



エネルギー材料研究室

教授 竹内 恒博 准教授 松波 雅治 助教 平田 圭佑

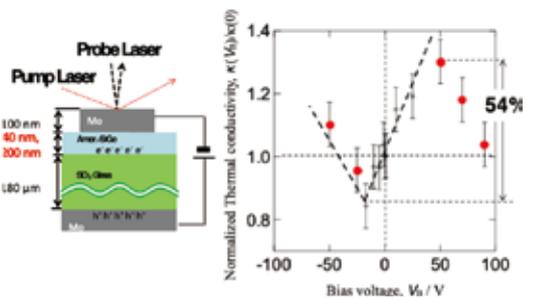
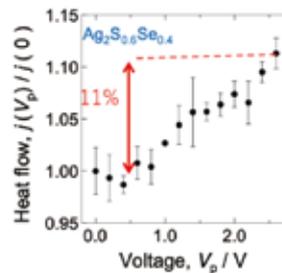
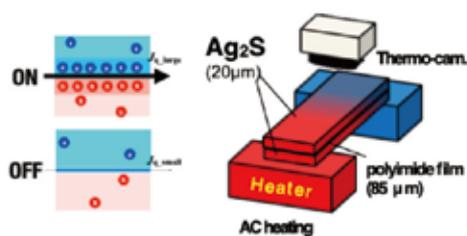
革新的熱流制御素子(熱ダイオード, 熱流スイッチング素子)の開発

研究テーマ

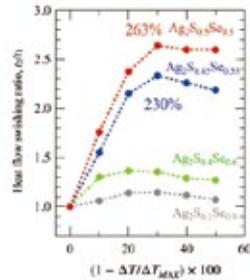
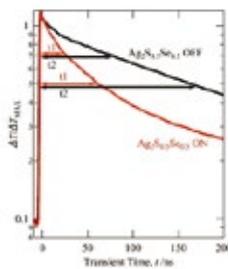
- 全固体熱ダイオードの開発
- 電場で動作する熱流スイッチング素子の開発
- 磁場で動作する熱流スイッチング素子の開発

主な研究内容・成果

- ・300%を超える熱整流比を示す全固体熱ダイオードの創製に成功
- ・潜熱に関係した熱流ポンピング効果により、260%を超えるスイッチング特性を示す素子の開発に成功
- ・磁場印加により熱流を60%低減する素子の開発に成功



キャパシター型熱流スイッチング素子の外観と性能



潜熱熱ポンプ型熱流スイッチング素子の性能

表面科学研究室

教授 吉村 雅満 准教授 原 正則

高効率電池開発に向けた電極触媒素材の微視的研究

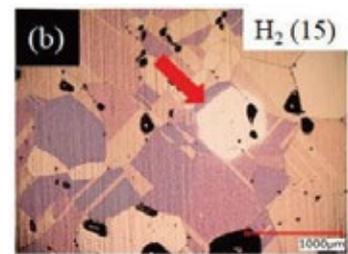
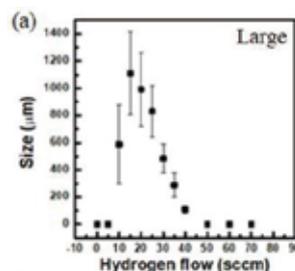
研究テーマ

- ナノカーボンの合成と制御
- 表面局所構造(欠陥、ドメイン境界)のナノレベル評価
- ナノスケールの化学・電極反応のその場観察

主な研究内容・成果

高品質グラフェン合成と新規合成法の提案

大気圧熱化学気相成長(CVD)装置を用いた合成条件の精密な制御により、グラフェンのドメインサイズ制御に成功。Cu基板上へのTa板マスクを用いた簡便な大面積グラフェン合成法を提案。



グラフェンのCVD合成時におけるH₂ガス導入量を調整(0~70sccm)することにより、グラフェンの核生成速度と結晶成長速度およびグラフェンエッジのエッチング速度のバランスを制御(図(a))し、ミリサイズの単結晶合成に成功(図(b))。



熱エネルギー工学研究室

教授 武野 計二

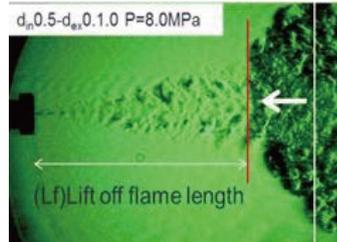
エネルギー高効率利用のための燃焼技術・熱設計技術

研究テーマ

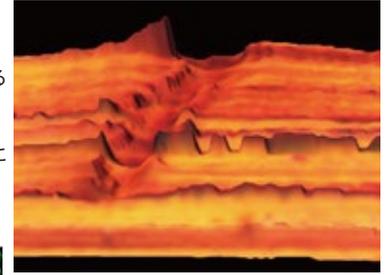
- エネルギー機器における伝熱（接触熱抵抗ほか）
- 高圧気体の燃焼機構、保炎条件、および安全工学の研究
- 固体、粗悪液体燃料の燃焼・ガス化機構、高粘度液体の噴霧
- 再生可能エネルギー（バイオマス等）の高度エネルギー変換

主な研究内容・成果

高圧水素噴出時の膨張形態と着火・保炎機構の関係把握
 噴出ノズルのスロートの勾配を変化させて、衝撃波構造を変化させた（不足膨張、適正膨張、過膨張）。着火させると、保炎に必要な水素圧力、流量、噴出ノズル径や浮き上がり火炎距離が、衝撃波構造に大きく依存していることを見出した。



接触熱抵抗計測における
 研削面の直行接触時の
 塑性変形
 （コンフォーカル顕微鏡に
 における観察）



10MPa 高圧水素の噴出火炎に
 における着火・保炎状況観察
 （シュリーレン写真法）

機能セラミックス研究室

講師 荒川 修一

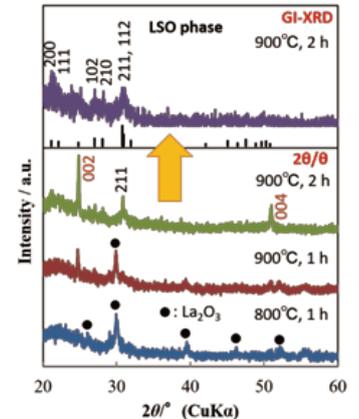
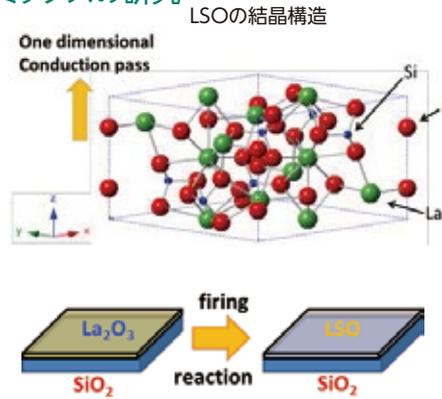
電池の高性能化に向けたイオン伝導性セラミックスの研究

研究テーマ

- 配向制御によるイオン伝導性向上 ～伝導異方性の利用
- 高速イオン伝導性を示す新規な母構造の探索
- 中温域作動型燃料電池用イオン伝導体の研究
- 固体内イオン伝導機構の解明

主な研究内容・成果

アパタイト型ランタンシリケートのc軸高配向化
 ・新しい概念を導入した反応性テンプレート粒成長法により、
 低温作動可能なSOFC用の固体電解質の開発を行っている。
 高速フッ化物イオン伝導性セラミックスの開発
 ・Ba含有フッ化物において、メカノケミカル合成と異原子価
 カチオンドープを用いたイオン伝導性の改善を進めている。



Reactive substrateとして石英ガラス基板を使用した基礎的研究を始め、
 基板の上にc軸自己配向LSO薄膜が形成することを見出した。

触媒有機化学研究室

教授 本山 幸弘 助教 土屋 直輝

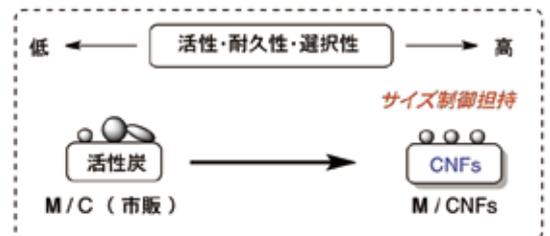
エネルギー貯蔵燃料の再生に向けた金属クラスター触媒の開発研究

研究テーマ

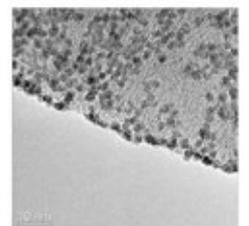
- 担持型金属ナノクラスターの創製と触媒機能
- サブナノサイズの金属クラスターの創製と触媒機能
- 担持型分子触媒の創製と触媒機能

主な研究内容・成果

担持型金属ナノクラスターの創製と触媒機能
 表面構造制御された炭素ナノ繊維（CNF）に対し有機金属錯体の穏和な分解反応を適用することで、ナノサイズの金属クラスター（Ru、Rh、Ir、Pd、Pt）の精密担持に成功。これらは芳香環やニトロ基、アルケン等の多重結合の水素化反応において、市販の活性炭担持触媒と比較して高い活性や繰返し耐久性を示す。
 また、窒素官能基を導入した含窒素CNFや活性炭を担体として用いることで、金属／窒素比により触媒活性の制御と化学選択性の飛躍的向上を実現。



プレートレット型炭素ナノ繊維
 (CNF-P)に担持した
 Ruナノクラスターの
 TEM画像(右図)





機能半導体デバイス研究室

教授 沼田 敏典

新たな機能融合による超低電力動作高性能デバイス技術

- 研究テーマ**
- ・半導体トランジスタ(Si, SiC)向け新規技術
 - ・高性能MOSデバイス向け新規材料

主な研究内容・成果

AIやIoTの台頭により半導体はさらなる低消費電力化が求められる。未来の課題克服に貢献する技術提案を目標に、トランジスタに材料や機能を融合した新たな半導体デバイスを探求する。



制御システム研究室

准教授 川西 通裕

Beowulf型クラスタ計算機による電力ネットワークの制御系設計

- 研究テーマ**
- マルチエージェント制御理論による電力
 - ネットワークの自律分散制御
 - 電力ネットワーク・シミュレータの開発
 - エネルギー管理システムの構築

主な研究内容・成果

マルチエージェント制御理論によるリアルタイムプライシング

マルチエージェント制御理論の合意制御に基づいて、動的に社会幸福度(Social Welfare)を最大化する自律分散型のリアルタイムプライシングの導出や、低次元部分空間による複数発電機の協調制御手法を提案している。

□ 動的な社会幸福度最大化問題

$$\max_P \left(\sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m U_j(P_{j,D}(t)) - \sum_{i=1}^n C_i(P_{i,G}(t)) \right] \right)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n P_{i,G}(t) + \sum_{j=1}^m P_{j,D}(t) = \sum_{j=1}^m P_{j,D}(t) + P_L(t), \quad \text{電力バランス制約}$$

$$P_{i,G}^{\min} \leq P_{i,G}(t) \leq P_{i,G}^{\max}, \quad i = 1, \dots, n, \quad \text{容量制約}$$

$$\Delta P_{i,G} \leq P_{i,G}(t) - P_{i,G}(t-1) \leq \Delta P_{i,G}^{\max}, \quad \text{容量変動速度制約}$$

$$\forall t = 2, \dots, N, \quad \text{需要限界・目標}$$

$$P_{j,D}^{\min} \leq P_{j,D}(t) \leq P_{j,D}^{\max}(t), \quad j = 1, \dots, m, \quad \text{需要制約}$$

発電燃料コスト

$$C_i(P_{i,G}(t)) = a_i P_{i,G}^2(t) + b_i P_{i,G}(t) + c_i,$$

消費者満足度関数

$$U_j(P_{j,D}(t)) = \begin{cases} \beta_j P_{j,D}(t) - \alpha_j P_{j,D}^2(t) & : P_{j,D}(t) \leq \frac{\beta_j}{2\alpha_j} \\ \frac{\beta_j^2}{4\alpha_j} & : P_{j,D}(t) \geq \frac{\beta_j}{2\alpha_j} \end{cases}$$



電子情報分野

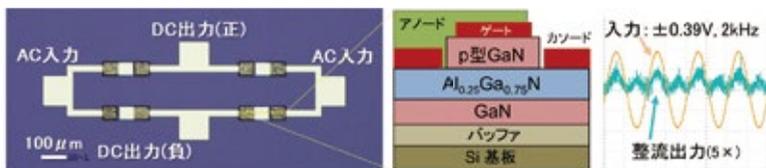
特任教授 岩田 直高

省エネルギー社会に向けた高効率で動作する低コスト高性能半導体デバイスの研究

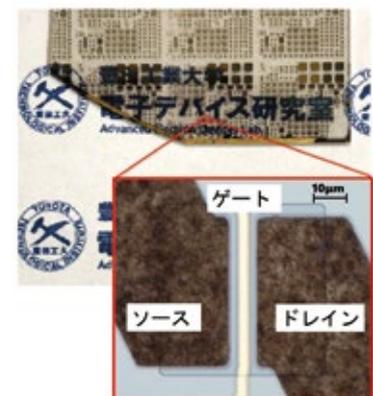
- 研究テーマ**
- 化合物半導体を用いた高効率動作する新構造パワーデバイスの研究開発
 - 化合物半導体ヘテロ接合パワーデバイスの研究
 - ・GaN基板上のGaN高電子移動度トランジスタ(HEMT)
 - ・MgドープGaNへのレーザー照射によるアクセプタ活性化
 - 超低消費電力半導体デバイスとシステムの研究
 - ・エネルギーハーベスティング向け高効率整流ダイオード

主な研究内容・成果

- ・不純物をドーピングした高抵抗GaNバッファ層がHEMT特性に及ぼす影響を解明
- ・SiとMgを共にドーピングしたGaNへのレーザー照射によりアクセプタを活性化
- ・ゲートアドアノード構造のダイオードで低電圧からの高効率整流を実現



p型GaNゲートヘテロ結合ダイオードで構成した整流用ICと低電圧整流特性



HEMTウエハ上面(上)とその拡大(下)



次代を担う太陽エネルギーを中心に
統合的研究の推進による新産業の創製、
新たな社会基盤の構築、
低炭素社会実現への貢献、
人類文明の維持発展への貢献

☑ 構成研究室

- 半導体研究室
- 量子界面物性研究室
- エネルギー材料研究室
- 表面科学研究室
- 熱エネルギー工学研究室
- 機能セラミックス研究室
- 触媒有機化学研究室
- 機能半導体デバイス研究室
- 制御システム研究室
- 電子情報分野



※豊田工業大学独自センター

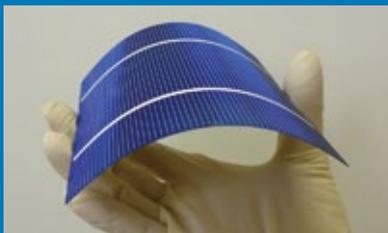
関連する研究プロジェクト

移動体用太陽電池およびモジュールに関する研究開発



研究テーマ

- ボトムセルとしての結晶シリコン太陽電池の高効率化
- 局面に対応した極薄結晶シリコン太陽電池技術の開発
- 次世代モジュール用新規材料および異種界面評価技術の開発
- 動体用モジュールの発電量評価および構造最適化設計



高効率な化合物半導体太陽電池と低コストな結晶シリコン太陽電池を組み合わせることにより、車など移動体への搭載に必要な35%以上の高い高効率と200円/Wの低コストの実現を目指します。



※南門は、徒歩及び自転車のみ通行可能です。



〒468-8511 名古屋市天白区久方二丁目12-1 Tel:052-802-1111 Fax:052-809-1721
 2-12-1 Hisakata, Tempaku-ku, Nagoya 468-8511, Japan Tel:+81-52-802-1111 Fax:+81-52-809-1721



toyota-ti.ac.jp

