

小型で安価なマイコンとCO₂センサーを用いた簡易光合成測定装置

光合成は植物の生育の最も基本的なプロセスであり、個葉の光合成速度は植物科学の多くの場面で活用される生育指標である。一方で、一般に用いられる光合成測定装置は、高精度な測定システムを備えるため、大型で高価となり、導入のハードルが高い。開発した光合成測定装置は、マイクロコンピュータ（マイコン）で制御する二酸化炭素（CO₂）センサー系と、アクリル製の同化箱（葉を封入する箱）から構成される。小型かつ安価で自作可能な本測定装置は、CO₂吸収量に基づく光合成速度の測定において、市販標準機と同等の精度を示す。

キーワード：光合成速度、二酸化炭素、プログラミング、閉鎖型測定装置、マイコン

背景・ねらい

葉の光合成速度は植物科学分野の多くの場面で活用される生育評価指標である。同化箱法はその測定法の一つであり、約40年前に市販の携帯型測定装置が販売された。現在、それらの後継機は測定精度・速度が優れる等のメリットがあるため主流である。一方で、高価（数百万～1千万円超、社会情勢や為替変動の影響を受けさらに高騰）であることが光合成測定を幅広いユーザー（研究者、生産者、教育関係者等）による利用を阻む一番の懸念事項である。近年は、小型で安価な環境センサー類が多く普及しており、マイクロコンピュータ（マイコン）等のIoTデバイスに組み込んだ温室環境計測・制御システム等、農業分野での利用・普及も著しい。これらを光合成測定システムの構築に応用する。

安価なCO₂センサーを自作した同化箱に組み込んで小型マイコンで制御・記録する閉鎖型光合成測定システム（以下、デモ機）を試作する。試作したデモ機を国際農研 熱帯・島嶼研究拠点の温湿度制御室内および野外圃場にて世界的な市販標準機と比較し、測定性能を評価する。

成果の内容・特徴

1. 自作したデモ機は、マイコンにより各センサーを制御する測定系と、葉を封入する同化箱から構成される。同化箱はアクリルガラス、ゴムマット等で自作される。同化箱内にはCO₂センサー、ファン、熱電対が設置され（図1a）、これらを箱外部のマイコン（M5Stack）に接続し制御する（図1b）。
2. デモ機は、約3万円の材料費で安価に自作可能である。
3. サトウキビの葉を用いてデモ機の測定性能を標準機と比較したところ、温湿度制御室で人工光源を用いて光量を変動させた場合（図2a）、野外の自然光下で多品種を測定した場合（図2b）のいずれにおいても測定値間の有意な相関関係が認められる。

4. デモ機の光合成速度測定値を目的変数、標準機の測定値を説明変数とした単回帰式の回帰精度を表す二乗平均平方根誤差（RMSE）、相対二乗平均平方根誤差（RRMSE）は多品種を扱った屋外のデータで温湿度制御下に比べ高いものの、いずれの条件においても十分に値が低く、デモ機の測定精度が高いことを示す。

成果の活用面・留意点

1. 光合成測定が安価かつ容易になることで、予算に制限のある多くの研究者にとって光合成研究が身近なものとなり、関連する分野の研究が活発化される。
2. 本成果は標準機と同等の性能を保証するものではなく、デモ機と標準機は用途によって使い分けことが望ましい。
3. デモ機作成に用いた工具類、人件費、ノートパソコン費は材料費に含まれていない。
4. 測定系のプログラミングコードはソフトウェアの更新に伴い改定の必要が生じることがある。
5. 安価なCO₂センサーは、性能や耐久性にバラツキがある可能性も考えられるため、大気CO₂条件や既知のCO₂濃度条件下で適宜性能を確認する必要がある。
6. 遺伝資源や雑種集団などの多検体評価（高効率フェノタイピング）に応用するためには、データ記録システムの改良（例、有線から無線）、測定システムの改良（例、閉鎖型から開放型）が必要である。

その他

予算区分：交付金プロ [C4 熱帯作物資源]、令和4年度理事長インセンティブ経費 [個葉の水利用効率を安価に測定する手法に関する基礎研究]

研究実施期間：2022～2023年度

研究担当者：竇川拓生（熱帯・島嶼研究拠点）、旭朝生・光岡宗司・平良英三・川満芳信（琉球大学農学部）

発表論文等：Takaragawa et al. (2025) *Photosynthesis Research* 163: 52. <https://doi.org/10.1007/s11120-025-01170-5>

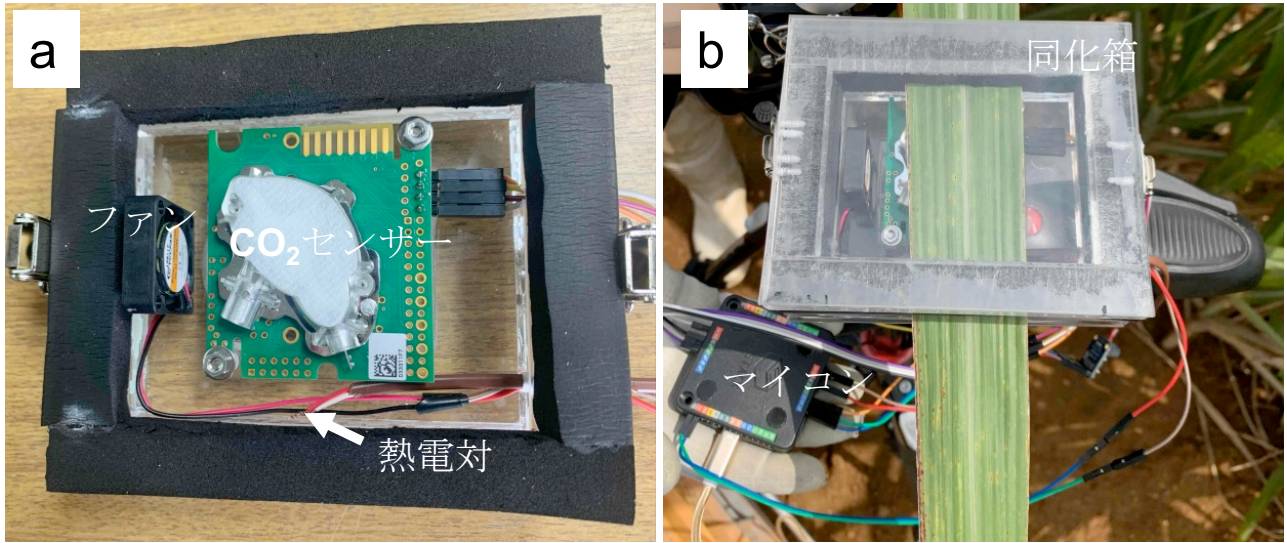


図1 デモ機の外観

デモ機の同化箱内部 (a) および測定時 (b) を示す。同化箱内部に CO₂ センサー、ファン、熱電対を設置し、これらをジャンパー線で外部のマイコンに接続して駆動する。

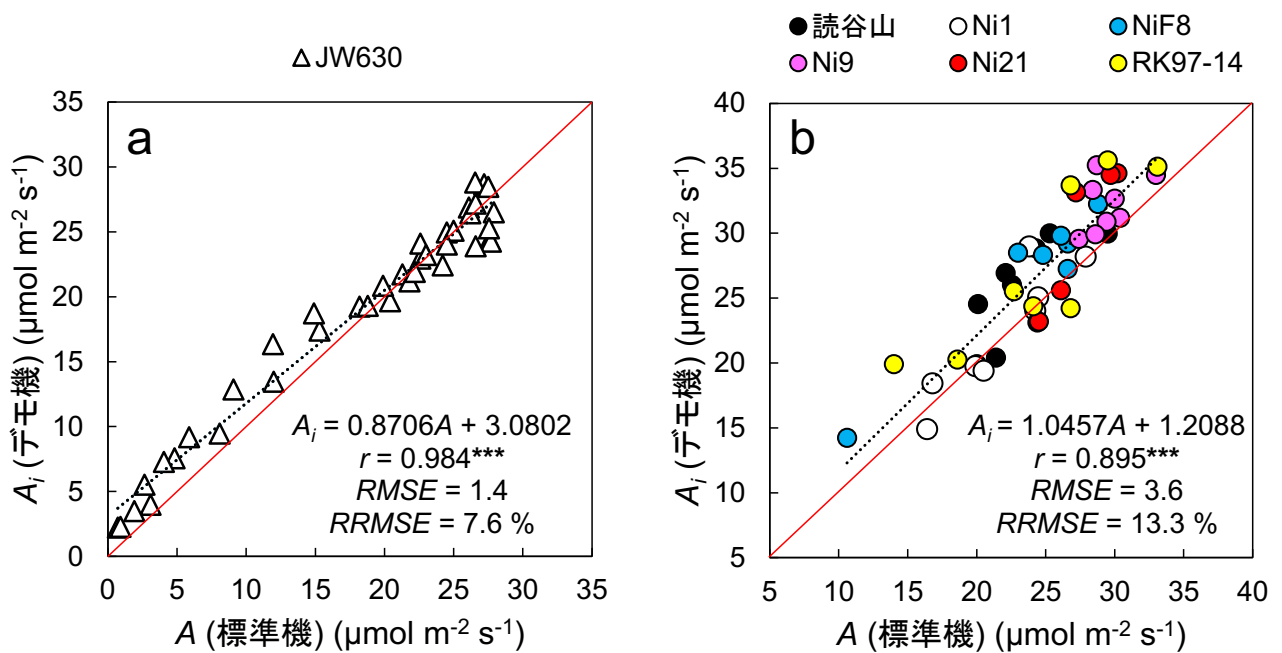


図2 試作したデモ機と標準機で測定したサトウキビ葉の光合成速度の比較

A_i (デモ機) および A (標準機) はそれぞれデモ機および標準機（光透過チャンバー）で測定した光合成速度を示す（a：温湿度制御室で単一システムを用いて測定光量を変化させて得たデータ（ $n=50$ ）、b：野外環境で多品種を用いて得たデータ（ $n=45$ ））。点線は A_i を目的変数、 A を説明変数とした単回帰式を示す。 r は相関係数、***は相関が0.1%水準で有意であることを示す。 $RMSE$ 、 $RRMSE$ はそれぞれ二乗平均平方根誤差、相対二乗平均平方根誤差を示し、値が低いと回帰式の精度が高い。赤色の実線は $y=x$ を表す。

図は Takaragawa et al. (2025) © The Author(s) 2025 より転載/改変して作成