

FMS-300

教育・研究用パルス変調蛍光測定システム

Document version: 2.00

Date: 19th February 2024



Hansatech
Instruments

日本総代理店
旭光通商株式会社
www.kyokko.com

特長

> 多彩な機能性:

教育と研究の両方の用途に適しています。FMS-300は、複雑な概念のデモンストレーション、実験、データ収集、結果の分析、共同学習や研究プロジェクトの促進を行うことができます。

> 高速・低速蛍光データ:

高速および低速蛍光データ:暗順応と明順応の両方のサンプル状態について、飽和パルスごとに高速蛍光キネティクスを捕捉します。新しい研究の機会を提供します。

> 包括的なパラメータ表示:

選択したルーチンに関連するパラメータセットが、飽和パルスごとに計算されます。暗順応サンプルでは、Fv/Fmなどのパラメータに加え、OJIPパラメータも計算されます。ETR、ΦPSII、非光化学消光のためのLakeモデルとPuddleモデル、計算されたFo'と遠赤色光下で測定されたFo'の両方を含む明順応パラメータが必要に応じて計算されます。

> 高性能を目指して開発:

専用LEDからの400nsの測定パルス幅により、より大きな強度を実現でき、強力で低ノイズの信号が得られます。測定パルス強度は $*0.001 \sim 0.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の間で定義できます。それぞれ最大3,000および**20,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ のアクチニック光および飽和パルス強度をサンプル表面に供給できます。

> 合理化されたデータキャプチャ:

FluoroControlソフトウェアには6つの事前設定された実験ルーチンが用意されており、必要に応じて追加できます。これにより、迅速な学習と効率的で手間のかからないデータ取得が可能になります。

> 簡素化された制御セットを備えた直感的なソフトウェア:

ユーザーフレンドリーなインターフェイスにより、さまざまな機能やオプションを簡単に操作できます。

> データの視覚化と分析:

減衰や平均化を必要とせず100%の生データを表示します。データ視覚化、分析、エクスポートツールにより、ユーザーは結果を効果的に解釈して提示できます。複雑な概念の理解、研究アプリケーションで詳細な分析を行うことの両方に価値があります。

> LEDバリエーション:

LEDカラーの組み合わせが異なる4つのバリエーション。青/青(455 nm)、赤/赤(624 nm)、青/白、または赤/白の測定光/アクチニック光および飽和LEDが付属しています。すべてのバリエーションには、消光分析ルーチン中にFo'を測定するための遠赤色LED(730 nm)が含まれています。

* 使用する光学アクセサリによって異なります。暗順応または PTL-100 リーフクリップを使用する場合は、最大 $0.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。FMS/LG3テーパードライトガイド使用時は最大 $0.41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

** 使用する光学アクセサリによって異なります。FMS/LG2テーパ型ライトガイド使用時は最大 $60,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、FMS/LG3テーパ型ライトガイド使用時は最大 $90,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。

FMS-300へようこそ

FMS-300は、教育システムの使いやすさと、高レベルの研究グレードのデータを提供できる能力と機能を組み合わせた、最先端のパルス振幅変調(PAM)クロロフィル蛍光計です。幅広い付属コンポーネントにより、さまざまな種類のサンプルで実験を行うことができます。



この技術を初めて使用する人でもすぐにデータを取得して分析できるため、FMS-300はクロロフィル蛍光を教育するための理想的なシステムになります。さらに、柔軟性、機能性、および優れた品質のデータ収集を提供する、非常に有能な研究機器でもあります。広範な機能により、このシステムを使用して、複雑な概念を実証し、実験を実施し、データを収集し、結果を分析し、共同学習や研究プロジェクトを促進することができます。

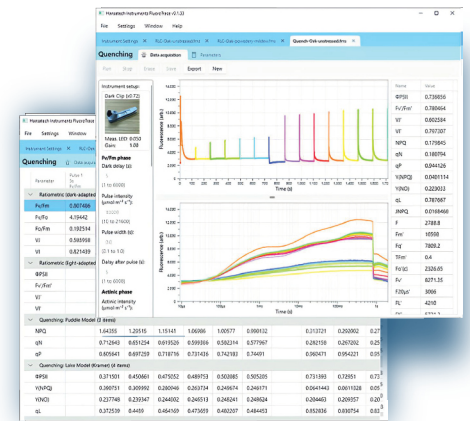
主に実験室ベースのシステムであるFMS-300は、適切なポータブル電源と組み合わせることで、温室や野外の用途に拡張できます。また、FMS-300は、Hansatech社製Oxygraph+のDW2/2電極チャンバーに光ファイバーを介して接続可能です。

標準周波数10Hz(高速蛍光捕捉時は最大100kHz)の超短測定パルスにより、高品質の信号を得ることができます。FMS-300は、パルスあたりわずか400nsで、ユーザー定義の平均強度が最大 $0.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の高強度測定パルスを放射できます。

この高強度と超短パルス幅の組み合わせにより、信号の減衰やデータの平均化を必要としない強力な蛍光信号が生成されます。ユーザーには100%生データが表示されます。

FluoroControlソフトウェア

FMS-300には、洗練されたユーザーフレンドリーなソフトウェアパッケージが付属しています。FluoroControlは装置操作のあらゆる側面を制御し、使いやすく開発されました。直感的なタブベースのインターフェースにより、ユーザーはすぐに測定を開始できます。設定可能な6つの測定ルーチンは、従来のすべての蛍光プロトコルをカバーし、データの取得に使用されます。測定および計算されたパラメータの包括的なセットは、明順応と暗順応の両方の状態でキャプチャされた高速蛍光(OJIP)データで、すべての飽和パルスイベントに対して表示されます。測定データはCSV形式で簡単にエクスポートでき、外部ソフトウェアでさらに解析することができます。FluoroControlソフトウェアは、USB経由でPCからの制御が可能です。



実験ルーチン

ルーチン 1: 最大量子収量 (Fv/FmおよびOJIP)

PSII(Fv/Fm)の最大量子収率、およびOJIP(JIP-Test, Strasser et al., 2004) 解析パラメータの完全互換。

ルーチン 2: 実効量子収量 (ΦPSII、ETR)

PSIIの動作効率(ΦPSIIまたはY[II])。PSIIによる電子伝達速度(ETR)の計算に使用されます。

ルーチン 3: クエンチング

Bakerら(2004)のプロトコルに基づいています。NPQのPuddleモデルとLakeモデル(Kramer 2004, Hendrickson 2004)には、飽和パルスイベントごとに高速蛍光データが提供されます。

ルーチン4: 光合成曲線(Light Curve)

光強度が増加する期間における電子伝達速度(ETR)。ETR対PARをプロットし、ETRmax、Ek、α、βパラメータを算出します。急速および定常状態の光合成曲線(Light Curve)の測定が可能です。



ルーチン5と6: マルチ最大量子収率と実効量子収率

暗順応したFv/Fm/OJIPおよびΦPSII/ETR測定をそれぞれ連続して行うことができます。複数の異なるサンプルの比較、複製、またはすべての測定値を同じグラフ上にオーバープロットした複数の表現型などのスクリーニングを容易にします。

リーフクリップ

FMS-300には、暗順応リーフクリップ(DLC)10個セットが付属しており、暗順応サンプルが必要な場合に使用します。DLCは、広葉樹種(大型のシロイヌナズナの葉を含む)、イネ科植物、針葉樹種など、さまざまなサンプルに使用できます。スルーポットを向上させるため、複数のDLCを使用して、測定前に多数のサンプルを同時に暗順応させることができます。



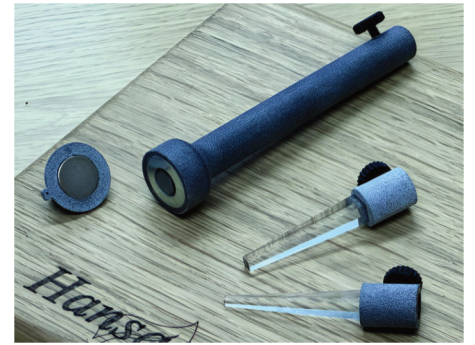
FMS-300には、環境光条件下でのサンプル測定用に、オープンフェイスのリーフクリップが標準装備されています。リーフクリップには、前面にPARセンサーと、クリップの下側に葉温センサーが取り付けられています。光ファイバーはサンプルの平面に対して、60°の位置にあり、サンプルに近接しています。これにより、サンプルの光強度と蛍光シグナルの検出の両方が最大になります。

FMS-300には、光ファイバーケーブルとリーフクリップを支えるアームとクランプも標準装備されています。これはサポートスタンドに取り付けられ、実験中に光ファイバーケーブルとリーフクリップを確実に固定する便利な方法です。

オプションアクセサリ

FMS-300は、さまざまなサンプルタイプに対応するため、さまざまなアクセサリをご用意しています。Hansatechでは、光学グレードの高研磨ホウケイ酸ガラス製の3種類のライトガイドをご用意しています。これらは、リーフクリップの代わりに光ファイバーケーブルに接続し、幅広い用途での測定を可能にします。

8×100mmの六角形ライトガイドは、サボテンや多肉植物、水槽に挿入して海草やサンゴなどの測定に適しています。ライトガイドはスリーブで保護され、層状サンプルはマグネットパックで固定されます。



シロイヌナズナ、針葉、地衣類などの小さなサンプルを測定するために、2種類のテーパ型ライトガイドが用意されています。テーパ形状のライトガイドはFMS-300からの光を集光し、最大飽和パルス強度を増加させます。この2つのライトガイドは、試料側の寸法が4×4mmと2.5×2.5mmで、それぞれ最大60,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と90,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を提供します。

藻類のような液体サンプルの測定には、4.5mlのキュベットを受け入れるように設計されたチャンバーが利用できます。液体サンプルチャンバーには、チャンバー内のサンプルを暗順応させるための蓋が取り付けられています。

側面の光学ポートにより、FMS-300光ファイバーケーブルをチャンバー内に挿入し、光ファイバーの先端をサンプルキュベットの外壁に直接接触させることができます。最小光学密度(O.D.) 0.1のサンプルは、飽和パルスイベントごとに表示される低速および高速の蛍光キネティクスで測定できます。複数のチャンバーを使用することで、測定前に複数のサンプルを同時に暗順応させることができます。サンプルチャンバーは、ハンザテックのマグネチックスターラーや既存のマグネチックスターラープレートと互換性があり、実験中にサンプルを混合することができます。

付属の光ファイバーサポートアームに加え、HansatechとFMS-300のバッジがレーザー刻印されたオーク材ベースのスタンドもご用意しています。



4種類のLEDカラーオプション

BとBWの測定LEDの最大強度は $0.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ です。RおよびRWの測定LEDの最大強度は $0.058 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ です。すべてのバリエーションが卓越したS/N品質を提供する一方で、ほとんどの真核藻類や高等植物の測定では、FMS-300-BとBWのバリエーションが最も強い蛍光応答を提供します。最適なFMS-300を選択する際には、サンプルの吸収特性と光化学的要件を理解することが重要です。

FMS-300は、飽和パルス開始前にクロロフィル蛍光が検出されない場合にLEDを無効にするEye Safety機能を備えています。

| バージョン | 測定LED | アクチニク光 および 飽和LED | 遠赤外LED | 蛍光検出器 |
|------------|----------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| FMS-300-B | 青色 - 455nm (FWHM 27nm) | ウルトラホワイト | 730nm (FWHM 20nm) | > 645nm |
| FMS-300-R | 赤色 - 624nm (FWHM 18nm) | | | |
| FMS-300-BW | 青色 - 455nm (FWHM 27 nm) | | | > 680nm |
| FMS-300-RW | 赤色 - 455nm (FWHM 18 nm) | | | |

表 1: FMS-300の4種類のLED構成

青色光は葉の上面で最大に吸収され、葉の内部には深く浸透しません(Ramos & Lagorio, 2004)。赤色光は葉の奥深くまで浸透し、断面全体にわたって蛍光を発するが、蛍光のかなりの割合が再吸収されるため(Gitelson et al. 1999)、蛍光強度は全体的に低下します。青色誘導蛍光は葉の表面からのみ発せられ、再吸収はほとんどないため、蛍光強度が高く、ノイズの少ない強い蛍光計シグナルが得られます (Ramos & Lagorio, 2004)。

青色励起光の使用は、実験によっては適しません。シアノバクテリアにはフィコビリソーム(PBS)と呼ばれる特殊なアンテナがあり、青色光を吸収しないと考えられています。したがって、シアノバクテリアは青色光下では光合成効率が低下します(Luimstra et al. 2018)。

クロロフィルaの吸収特性に対する各LEDの発光特性を図1に示します。図2にFMS-300の各バリエーションにおけるクロロフィル蛍光発光スペクトルに対する蛍光検出特性を示します。

FMS-300-Bには、他の機種とは異なる蛍光検出器フィルターが装着されており、645 nm以上の蛍光を捕らえることができます(図2)。これにより、685nmの発光ピークのかなりの割合が透過するため、極めて低ノイズの蛍光シグナルが得られます。他のすべてのバージョンは680 nm以上の蛍光を検出します(図2)。

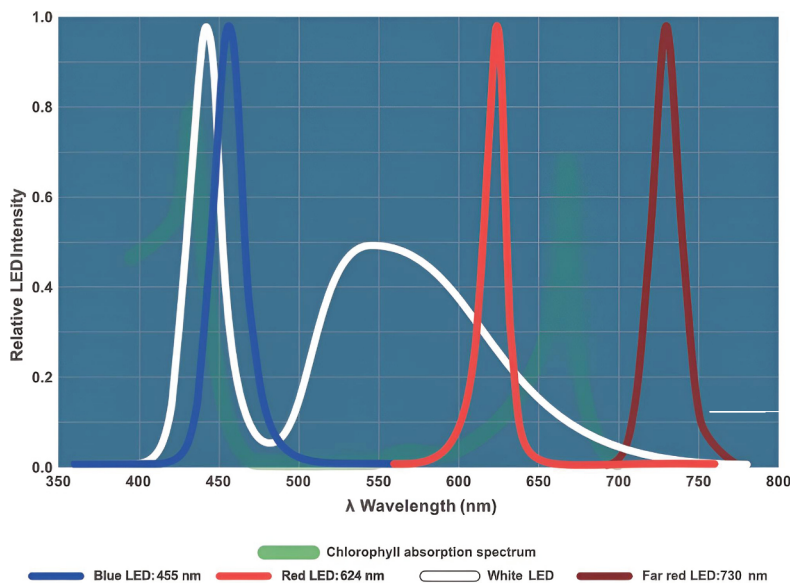


図1: クロロフィルaの吸光度スペクトルに対するFMS-300 LEDの発光特性

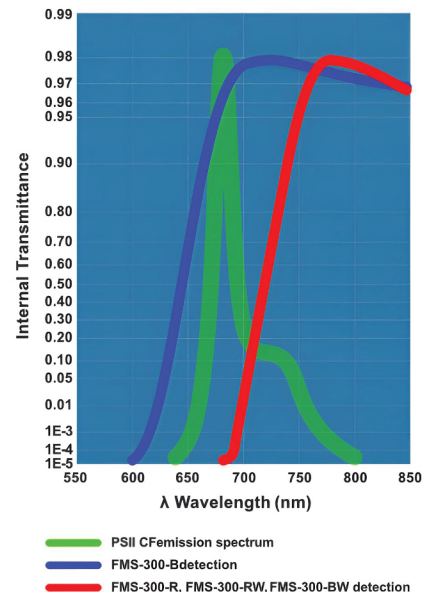


図2: クロロフィルaの発光スペクトルに対するFMS-300各バージョンの検出器特性

技術仕様

すべての光強度の仕様は、サンプル表面での入射光を指します。

コントロールユニット

| | |
|--------------|---|
| 測定LED: | パルス幅: 400ナノ秒。 パルス周波数: 遅い速度: 10Hz。速い反応速度: 10Hz~100kHzの片対数周波数 |
| パルス強度: | FMS-300-B/BWでは最大 $0.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ FMS-300-R/RWでは最大 $0.058 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $0.001 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 単位で調整可能 ライトガイドあり、FMS/LG2:> $0.25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ライトガイドあり、FMS/LG3:> $0.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| 測定光: | FMS-300-B/BW: 青色455nm(FWHM 27 nm) FMS-300-R/RW: 赤色624nm(FWHM 18 nm) |
| アクチニク光強度: | 最大 $3,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 単位で調整可能 ライトガイドあり、FMS/LG2:> $8,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ライトガイドあり、FMS/LG3:> $12,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| アクチニク光LEDの色: | FMS-300-B: 青色455nm(FWHM27nm) FMS-300-R: 赤色624nm(FWHM18nm) FMS-300-BW/RW:ウルトラホワイト |
| 飽和パルス強度: | > $20,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ $1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 単位で調整可能 ライトガイド付き、FMS/LG2:最大 $60,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ライトガイド付き、FMS/LG3:最大 $90,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| 飽和LEDの色: | FMS-300-B: 青色455nm(FWHM27nm) FMS-300-R: 赤色624nm(FWHM18nm) FMS-300-BW/RW:ウルトラホワイト |
| 遠赤色LED: | 730nm(半値幅20nm)。強度> $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ライトガイド付き、FMS/LG2:最大 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ライトガイド付き、FMS/LG3:最大 $90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| 検出器: | PIN フォトダイオード、高速ピークパルス追跡 |
| 検出範囲: | FMS-300-B:>645nm FMS-300-R/BW/RW:>680nm |

付属品

FMS-300コントロールユニット
光ファイバーケーブル
PTL-100 PAR温度リーフクリップ
FMS/DLC暗順応リーフクリップ10個パック
光ファイバーケーブルサポートアームとクランプ
12 V DC電源
USB A - C接続ケーブル
ハードケース

| | |
|-------------|---|
| エレクトロニクス: | デュアルプロセッサ:リアルタイムオペレーティングシステム実行ARM32ビットマイクロコントローラ、LEDサンプリング専用の測定用PIC8ビットマイクロコントローラ |
| 光ファイバーケーブル: | 長さ1m。統計的にランダム化されたファイバー束、サンプル端の光学直径7mm |
| 接続: | 光ファイバーケーブル用の光接続、12VDCソケット、USB-Cソケット、PTL-100用のMiniDINソケット |
| 筐体: | シールド付きアルミニウム筐体 |
| 寸法: | 150(L)x150(W)x85mm(H)。重量770g |
| 通信: | USB2.0。ケーブルタイプA~C |
| 動作条件: | 0°C~40°C。非結露 |
| 電源: | 12 V DC 主電源。 |
| 消費電力: | 最大5.6~7.2W 50W |
| 画面: | 4行x20文字の青色LCDディスプレイ |

リーフクリップとアクセサリ

| | |
|----------|--|
| FMS/DLC: | ナイロン3Dプリント、サンプル開口部7mm、スライド式シャッター ブレード、光ファイバーとサンプル間の角度60° |
| PTL-100: | ナイロン3Dプリント、葉温度。 & PAR(400-700 nm)センサー、FMS-300への電気接続、オープンフェイス、光ファイバーとサンプル間の角度は 60° ミニ可変フリクションアーム。0.44kg、長さ:12~24cm、最大耐荷重:3kg |
| アーム: | ナノクランプ。0.097kg。クランプ範囲13~35mm、最大耐荷重:4kg |
| クランプ: | 輸送ケース: 464(L)×366(W)×176(T)mm。重量:~3kg |

ソフトウェア要件

制御システム: Windows 10 以上

オプション/アクセサリ

FMS/DLC: 暗順応リーフクリップ10個の追加パック
FMS/LG1: 100x8mm 六角ライトガイド
FMS/LG2:4x4mm(x2光強度)まで先細になる50mmライトガイド
FMS/LG3:2.5x2.5mm(x3光強度)まで先細になる50mmライトガイド
FMS/LPC: 液体サンプルチャンパー
FMS/LPC-CU:4.5mlサンプルキュベット
FMS/LPC-FL: 4.5mlキュベット用のスターラー
FMS/MAG: 液体サンプルチャンパー用のスターラー
FMS-300/RS:レーザー彫刻が施されたオーク無垢材のガラススタンド

参考文献

- バイカーNR. クロロフィル蛍光: in vivo での光合成のプロープ. *Annu Rev Plant Biol.* (2008);59:89-113. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant.59.032607.092759>. PMID: 18444897.
- Neil R. Baker, Eva Rosenqvist, 「クロロフィル蛍光の応用は作物生産戦略を改善できる: 将来の可能性の検討」、*Journal of Experimental Botany*, 第 55 巻、第 403 号、2004 年 8 月、1607 ~ 1621 ページ、<https://doi.org/10.1093/jxb/erh196>
- ラモス、M.E.、ラゴリオ、MG 葉の真の蛍光スペクトル. *Photochem Photobiol Sci* 3、1063-1066 (2004)。 <https://doi.org/10.1039/b406525e>
- Gitelson, Anatoly A., Claus Buschmann, Hartmut K. Lichtenthaler. 「植物のクロロフィル含有量の正確な尺度としてのクロロフィル蛍光比 F735/F700。」 *環境のリモートセンシング* 69.3 (1999): 296-302.
- Luimstra, Veerle M., 他. 「青色光は、光化学系 I と II の間の不均衡により、シアノバクテリアの光合成効率を低下させます。」 *光合成研究* 138 (2018): 177-189.
- Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., および Srivastava, A. クロロフィル蛍光過渡現象の分析. 所在地: パパジヨルジオ, GC および Govindjee 編, 「蛍光クロロフィル: 光合成の特徴」、Springer, ニューヨーク, 321-362 (2004)。
- クレイマー、D.M.、ジョンソン、G.、キアラツツ、O. 他 QA 酸化還元状態および励起エネルギー束を決定するための新しい蛍光パラメーター. *光合成研究* 79、209-218 (2004)。
- ハンドリックソン、L.、ファーバンク、R.T. & チョウ、W.S. クロロフィル蛍光を使用して、吸収された光エネルギーの運命を評価するための簡単な代替アプローチ. *光合成研究* 82、73-81 (2004)。