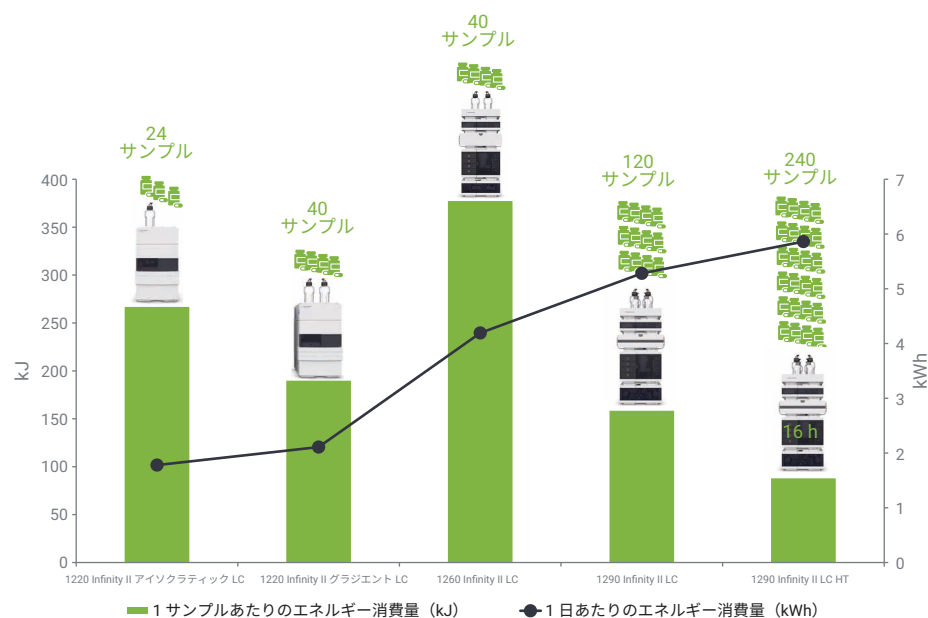


HPLC が環境に及ぼす影響の評価

ルーチン分析における 4 種類の
InfinityLab LC システムのエネルギー消費



著者

Florian Rieck
Agilent Technologies, Inc.

概要

環境面における持続可能性について、多くの企業が指針に盛り込んで目標に掲げています。資源集約的スペースであるラボは、持続可能性の向上に向けた取り組みによって改善が可能なホットスポットです。非営利組織 My Green Lab は、ラボ製品の環境への影響に関する情報の伝達と評価のため、ラボ用電気製品に関するさまざまな要因、特にエネルギー消費を検討する ACT ラベルを設けました。この技術概要では、ACT ラベルを付与された 4 種類の Agilent LC システムのエネルギー消費と、1 サンプルあたりのエネルギー消費について詳しく説明しています。購買決定の環境的影響を評価し、企業が掲げる持続可能性の目標を達成するには、ラボの科学者たちが LC の総エネルギー消費量を把握することが重要です。しかし、さらに重要なのが、測定する 1 サンプルあたりのエネルギー消費量を把握することです。

はじめに

ラボは資源集約度が非常に高い作業スペースです。ラボを運用するほぼすべての企業が、環境上の指針や持続可能性に関する指針を設けているのはこのためです。例えば、今後5年間で排出を削減し、カーボンニュートラル¹あるいはゼロエミッション²を目指すことを目標として掲げるなどしています。環境的に持続可能である行動は、二酸化炭素排出削減だけに限られるものではありません。ラボでは、装置を動作させるのに水やエネルギーを必要とし、多くの消耗品に再利用可能な材料やリサイクル可能な材料ではなく、新しいプラスチックが使用されています。非営利組織 My Green Lab は、ラボ用製品の製造、使用、維持および廃棄の環境への影響を評価するため、ACT ラベル (図 1) を設けました。Accountability (説明責任)、Consistency (整合性)、Transparency (透明性) の頭文字を取った ACT ラベルは、ラボの設備、消耗品や化学薬品の環境への影響を評価するラベルであると捉えることができます。

My Green Lab は 2013 年の創立以来、マサチューセッツ工科大学 (MIT)、カリフォルニア大学やアストラゼネカといった世界的に有名な機関や企業をはじめとする、400 以上のラボ³を監査・認定してきました。ラボ用設備、消耗品や化学薬品メーカーが ACT ラベル を付与された 230 点を超える製品を登録し、そのメーカー数はますます増え続けています⁴。登録製品については、act.mygreenlab.org の ACT データベースでご確認いただけます。

My Green Lab は、第三者機関 (SMS Collaborative、ウィルミントン、デラウェア) を介し、特に以下の基準を確認・評価して ACT ラベルを発行します。

- ・ 生産における再生可能エネルギーの使用
- ・ 製品および梱包材の中身
- ・ 使用時のエネルギー消費
- ・ 製品の耐用年数
- ・ 耐用年数経過後の製品および使用済み梱包材のリサイクル

アジレントは、1220 Infinity II、1260 Infinity II、1290 Infinity II LC 機器シリーズの監査を受け、評価に準じた、米国、英国、欧州連合ごとの ACT ラベルを付与されています。製品の製造、使用および廃棄の環境への影響に関する知識を得られれば、消費者は、環境への影響をより理解した上で購買の決断を下せます。持続可能性の目標達成のため、ACT ラベルや同様のラベルの提示を義務付けているラボもあります。

ACT データベースの補完情報として、本技術概要は各機器シリーズに固有の分析条件下でのエネルギー消費について詳しく示しています。エネルギー消費を可能な限り低く抑えてエネルギー消費を最適化するのではなく、実際の使用事例を反映したメソッドや分析条件を用いることを目的としました。一般的な機器パラメータと一般的な分析実行時間で市販のサンプルを各システムで分離しました。

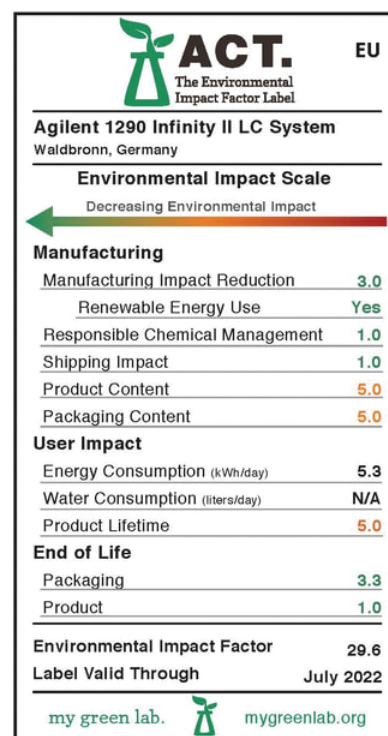


図 1. 欧州連合で有効な Agilent 1290 Infinity II LC システムの ACT ラベル⁵。値が小さければ小さいほど、環境への影響が小さいことを意味しています。

実験方法

装置構成

各 LC システムの電力消費量は、CLM 221 パワーメーター (Christ Electronic Systems、メミンゲン、ドイツ) および ALMEMO 2590 データロガー (Ahlborn、ホルツギルヒェン、ドイツ) を使用して測定しました。

測定はすべて室温で、InfinityLab LC ポートフォリオの代表的な構成である 4 種類の HPLC システムで実施しました。

1. Agilent 1220 Infinity II LC システム (アイソクテックポンプ付き) (G4286B)
2. Agilent 1220 Infinity II LC システム (グラジエントポンプ、オートサンブラ、カラムサーモスタット付き) (G4294B)
3. Agilent 1260 Infinity II LC システムは次のコンポーネントで構成しました。
 - 1260 Infinity II クォータナリポンプ (G7111B)
 - 1260 Infinity II バイアルサンブラ (G7129A) と一体型カラムコンパートメント (G7130A)
 - 1260 Infinity II 可変波長検出器 (G7114A)
4. Agilent 1290 Infinity II LC システムは次のコンポーネントで構成しました。
 - 1290 Infinity II ハイスピードポンプ (G7120A)
 - 1290 Infinity II マルチサンブラ (G7167B)
 - 1290 Infinity II マルチカラムサーモスタット (G7116B)
 - 1290 Infinity II ダイオードアレイ検出器 (G7117B)



■ 待機中 ■ 分析中 ■ アイドリング中

図 2. 典型的なラボの 1 日の流れにおける LC システムの推定動作状況

カラム

- Agilent ZORBAX Eclipse Plus C18、4.6 × 250 mm、5 μm (部品番号 959990-902) (システム 1 とともに使用)
- Agilent InfinityLab Poroshell 120 EC-C18、4.6 × 150 mm、2.7 μm (部品番号 693975-902T) (システム 2 および 3 とともに使用)
- Agilent ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18、2.1 × 50 mm、1.8 μm (部品番号 959757-902) (システム 4 とともに使用)

ソフトウェア

LC および LC/MS システム用 Agilent OpenLab CDS ChemStation Edition、バージョン C.01.10 [239]

溶媒およびサンプル

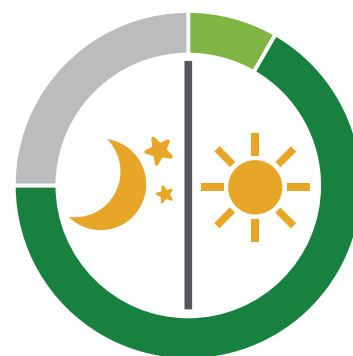
LC グラジエントグレードのアセトニトリルおよびメタノールは、Merck 社 (ダルムシュタット、ドイツ) から購入しました。超純水は、0.22 μm メンブレンユースポイントカートリッジ (Millipak) 付きの Milli-Q Integral システムで精製しました。すべての実験に使用したサンプルは、未希釈の Agilent RRLC チェックアウトサンプル (部品番号 5188-6529) です。

	アイドリング中	待機中	分析中
電源	ON	ON	ON
サンプルサーモスタット*	ON	ON	ON
カラムサーモスタット**	OFF	ON	ON
ポンプ	OFF	ON	ON
検出器ランプ	OFF	ON	ON
オートサンブラ**	OFF	OFF	ON

* Agilent 1220 Infinity II LC システムにはご利用いただけません。 ** Agilent 1220 Infinity II アイソクラディック LC にはご利用いただけません。

メソッドの設定

各システムの電力消費量は、ラボの 1 日における「アイドリング中」、「待機中」、「分析中」の 3 つの動作状態で測定しました (正確な状況については図 2 をご覧ください)。LC システムを各動作状態で 2 時間動作させました。その後、それぞれの動作状態の通常の持続時間に当てはめ、平均電力消費量を推定しました。ラボの典型的な 1 日の構成を、各システムでの実際の分析時間 8 時間 (「分析中」と、プライミング、パージ、カラムの温度平衡、サンプルの提出待ち (「待機中」) のための追加の 2 時間であると仮定しました。1290 Infinity II LC の標準のシナリオに加え、16 時間動作させる高スループット (HT) シナリオ (図 3) も算出しました。1 日の残りの時間については、システムはスタンバイ状態、すなわち、ポンプ、カラムオープンおよび検出器の電源はオフであるものの、オートサンブラ (該当する場合) はサンプルを冷却中 (「アイドリング中」) であると仮定しました。実際の電力消費量は各状態で 2 時間測定し、2 時間を通していずれも安定していました。その後、1 日における「待機中」、「分析中」、「アイドリング中」それぞれの推定持続時間に当てはめて、結果を推定しました。



■ 待機中 ■ 分析中 ■ アイドリング中

図 3. 1 日の流れにおける高スループット (HT) 分析モードの LC システムの推定動作状況

分析中、表 1～4 に示したクロマトグラフィー条件を 4 種類のシステムに適用してサンプルを分離しました。調査するシステムの能力（アイソクラティック LC システムの場合は分析時間が 20 分と長く、UHPLC 対応機器は分析時間が短いなど）に準じて、標準的な条件を選択しました。

表 1. Agilent 1220 Infinity II アイソクラティック LC のクロマトグラフィー条件

パラメータ	設定値
移動相	水/アセトニトリル、 35 : 65 (v/v)
流量	1.5 mL/min
ストップタイム	20 min
注入量	5 µL
カラム温度と サンプル温度	室温
UV 検出器	VWD 280 nm ピーク幅>0.1 分 (レスポンスタイム 2 秒) データレート 5 Hz

表 2. Agilent 1220 Infinity II グラジエント LC のクロマトグラフィー条件

パラメータ	設定値
移動相	A) 水 B) アセトニトリル
流量	1.5 mL/min
グラジエント	0.00 分 20 % B 10.00 分 90 % B
ストップタイム	10 分
ポストタイム	2 分
注入量	5 µL
ニードル洗浄	水/アセトニトリル、 1:1 (v/v) (洗浄用バイアル 使用)
カラム温度	40 °C
サンプル温度	室温
UV 検出器	DAD 280 nm ピーク幅>0.05 分 (レスポンスタイム 1 秒) データレート 5 Hz

表 3. Agilent 1260 Infinity II LC のクロマトグラフィー条件

パラメータ	設定値
移動相	A) 水 B) アセトニトリル
流量	1.5 mL/min
グラジエント	0.00 分 20 % B 10.00 分 90 % B 10.01 分 20 % B
ストップタイム	12 分
注入量	5 µL
ニードル洗浄	水/アセトニトリル、 1 : 1 (v/v)
カラム温度	40 °C
サンプル温度	4 °C
UV 検出器	VWD 280 nm ピーク幅>0.1 分 (レスポンスタイム 2 秒) データレート 5 Hz

表 4. Agilent 1290 Infinity II LC のクロマトグラフィー条件

パラメータ	設定値
移動相	A) 水 B) メタノール
流量	0.8 mL/min
グラジエント	0.00 分 30 % B 2.00 分 95 % B
ストップタイム	3 min
ポストタイム	1 分
注入量	1.25 µL
ニードル洗浄	水/アセトニトリル、 1:1 (v/v) (洗浄用バイアル 使用)
カラム温度	40 °C
サンプル温度	4 °C
UV 検出器	DAD 280 nm ピーク幅>0.0063 分 (レスポンスタイム 0.13 秒) データレート 40 Hz

結果と考察

Agilent RRLC チェックアウトサンプルを、4 種類の InfinityLab LC システムで分離しました。設定および分析時間は、性能範囲の中間（すなわち、最大圧力 60 MPa のシステムは約 30 MPa、130 MPa のシステムは約 65 MPa）を選択しました。表 5 には、動作パラメータと 1 時間あたりの分析サンプル数の概略を示しています。アプリケーションによっては、より高い使用圧力でより高いスループットの達成が可能でした。ただし、各システムの平均的な使用事例を示すため、エネルギー消費量測定のパラメータを過度に最適化することはしませんでした。

図 4 は、1 日の総エネルギー消費量と、各システムで 1 サンプルあたりの分析に必要なエネルギー量をまとめたものです。1220 Infinity II アイソクラティック LC から 1290 Infinity II LC にかけてエネルギー消費量が増加しているのは、システムの機能数が増加しているためです。1220 Infinity II グラジエント LC に組み込まれたグラジエントポンプとカラムサーモスタットによって、総エネルギー消費量がアイソクラティック LC に比べて約 20 % 増加しています。1260 Infinity II LC にサンプルサーモスタットを追加し、モジュール式設定に切り替えると、電源負荷が変更前のシステムの 2 倍になりました。1290 Infinity II LC のスピードと圧力の安定性を上げると、さらに 20 % 増加しました。一晩中、HT モードでより多くのサンプルを分析すると、総エネルギー消費量が 10 % 強増加しました。

表 5. 使用したシステムの分析パラメータとアプリケーション例。FPP：全多孔質粒子、SPP：表面多孔質粒子

システム	アプリケーション例	カラム	平均圧力	1 時間あたりのサンプル数 (1 日あたり)
1220 Infinity II アイソクラティック LC	公定法メソッド、 簡単分離、 散発的な使用	4.6 × 250 mm、 5 µm FPP	30 MPa	3 (24)
1220 Infinity II グラジエント LC	ルーチン分離、 公定法グラジエントメソッド、 影響を受けにくいサンプル	4.6 × 150 mm、 2.7 µm SPP	30 MPa	5 (40)
1260 Infinity II LC	ルーチン/最適化済み分離、 公定法グラジエントメソッド、 影響を受けやすいサンプル (4 °C)	4.6 × 150 mm、 2.7 µm SPP	30 MPa	5 (40)
1290 Infinity II LC	高性能メソッド、 高速グラジエント、 分離が困難	2.1 × 50 mm、 1.8 µm FPP	65 MPa	15 (120)
1290 Infinity II LC HT	上記同様。ただし、一晩中分析を行う高スループットモード	2.1 × 50 mm、 1.8 µm FPP	65 MPa	15 (240)

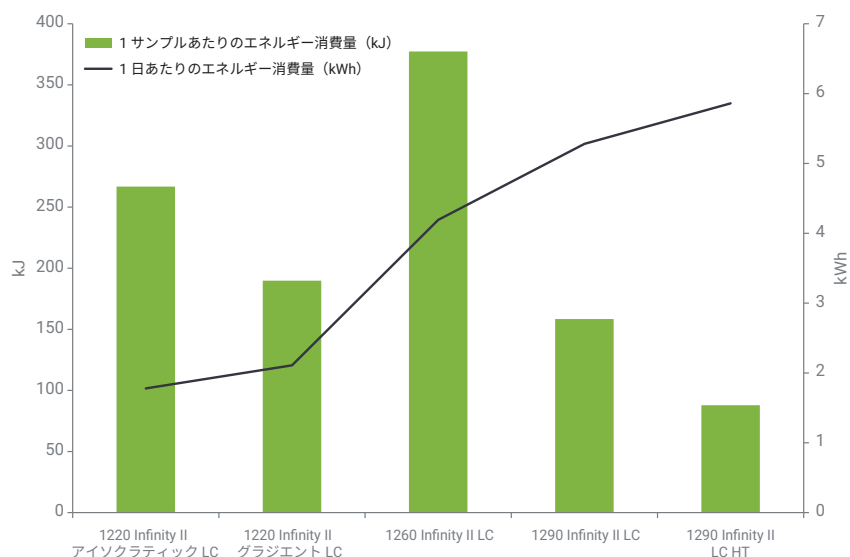


図 4. 1 サンプルあたり（単位 kJ、左軸）と 1 日あたり（単位 kWh、右軸）の 4 種類の LC システムの総エネルギー消費量。左から 5 番目は、Agilent 1290 Infinity II LC で算出した、高スループット（HT）分析を追加

1 日あたりの分析したサンプル数を考慮すると、評価は大きく変わります。1220 Infinity II アイソクラティック LC は、エネルギー消費量が最も低いだけでなく、サンプル分析数も最少でした。1 日あたり 24 サンプルで、1 サンプルの分析に必要な電力量は 267 kJ でした。一方、高性能の 1290 Infinity II LC は、HT モード（サンプル分析 16 時間）で 1 日あたり 240 サンプルを分析して、1 サンプルあたりの電力量をアイソクラティックシステムの 3 分の 1 に当たる 88 kJ まで削減しました。1290 Infinity II LC は、標準モード（8 時間で 120 サンプル）では、1 サンプルあたり約 160 kJ を消費しました。1220 Infinity II グラジエント LC も、1260 Infinity II LC においても、1 日あたり 40 サンプルを分析しましたが、1 サンプルあたりのエネルギー消費量は、それぞれ 190 kJ、380 kJ と大きくかけ離れています。

この 2 つのシステムの構成を比較すれば（「実験方法」を参照）、1220 Infinity II LC が最小限のコストで基本的なルーチンアプリケーションを行うために必要な装備（60 MPa の圧力安定性を備えた 2 チャンネルのグラジエントポンプ、オートサンブラ、カラムサーモスタット、UV 検出器）を備えたコンパクト LC として設計されていることは明確です。1260 Infinity II LC は、1220 Infinity II LC とは対照的に、クォータリポンプとサンプルサーモスタットを備えたモジュール型システムです。ユーザーの必要性に応じて交換が可能な各モジュールの柔軟性は、間違いなくエネルギー消費を代償に得られるものです。一方で、サンプルの冷却もエネルギー消費量が増加する大きな要因でした。

これらの結果から明らかなのは、どの機器が環境への負担が小さいシステムかを判断するには、システムの用途を考慮する必要があるということです。UHPLC メソッドで分析を行う場合、圧力範囲をどの程度拡張すればいいか？ サンプルは温度の影響を受けやすく、冷却する必要があるか？ 1 稼働日あたりの典型的なサンプルスルーブットはどのくらいか？ 上記の点が明確であれば、本技術概要に示したエネルギー消費データを基に、幅広い Agilent LC ポートフォリオからシステムを絞り込むことができるでしょう。また、もう 1 つ考慮すべきなのが分析モードです。システムを週に 2 回しか使用しなければ、総エネルギー消費量が低いことの方が、1 サンプルあたりのエネルギー消費量が低いことよりも重要となるでしょう。メソッドの調整が可能で、ワークフローによる対応が可能であれば、HT システムを連続稼働させる方が従来のシステムを 2、3 台稼働させるよりも経済的で、環境への影響を低く抑えられる可能性があります。

結論

ACT ラベルから、ラボ用設備の環境への影響を知ることができます。ラベルには、製品稼働時のエネルギー消費量が kWh/日で示されています。このアプリケーションノートでは、ACT ラベルを付与された Agilent LC システムのエネルギー消費量の測定方法を示しています。その上で、1 稼働日あたりのエネルギー消費量だけでなく、より重要な、1 サンプル測定あたりのエネルギー消費量によって、その LC システムが省エネかどうかが決まるということを明らかにしています。1 日 16 時間

の HT モードで分析を行う高性能の 1290 Infinity II LC の場合、1 サンプルあたりのエネルギー消費量は、統合型の 1220 Infinity II アイソクラティック LC の 3 分の 1 です。ラボ用機器の環境への影響に関する知識を得ることで、科学者は、環境への影響をより理解した上で、全従業員が目指す持続可能性の目標達成に役立つ Agilent LC システムの幅広いポートフォリオの中からふさわしいシステムを購入する決断を下せるようになります。

参考文献

1. <https://www.novartis.com/our-company/corporate-responsibility/environmental-sustainability>
2. <https://www.astrazeneca.com/sustainability/environmental-protection.html>
3. <https://www.mygreenlab.org/>
4. <https://act.mygreenlab.org/manufacturers.html>
5. <https://act.mygreenlab.org/equipment.html>

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンタ

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っておりません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2020
Printed in Japan, August 25, 2020
5994-2335JAJP
DE.94375