

## DPG を使った再現性テスト

本資料は DPG の再現性に関する性能を、いくつかの面から検証したデータとなっています。

### 1. スート量の安定性と再現性

テストの仕様で規定された DPG の生成スート量は、燃料や DPF フィルタ仕様の変更を除いて 2 g/h – 20 g/h の範囲で±20% となります。このバラツキは、下記の § 3 で述べるように DPF の背圧やスートロードに対するフィルタのろ過効率に直接的な影響を及ぼすことはありません。より正確なロードを必要とする場合には、以下に述べる § 1.1 と § 1.2 に示す DPG に内蔵されている 2 通りの異なった自動化技術を用いて達成することができます。

1 回（フェーズ）が 24 分間で 5 回連続のスートロード行い、各期間の始めと終わりにフィルタの秤量をすることで発生スート量の安定性を検証しました。5 回行った試験の結果から、スートロードの再現性を計算することができます。本システムに対する日毎の再現性を確認するため、この 5 連続の試験を 5 日間繰り返し行いました。

以下の表は、フェーズ毎のスートロードで得られたロード量となります：

表 1：各フェーズでのスートロード結果

|        | 1 日目 | 2 日目 | 3 日目 | 4 日目 | 5 日目 |
|--------|------|------|------|------|------|
| フェーズ 1 | 3.6  | 3.6  | 3.7  | 3.8  | 3.7  |
| フェーズ 2 | 3.5  | 3.8  | 3.9  | 3.7  | 3.6  |
| フェーズ 3 | 3.7  | 3.5  | 3.5  | 3.7  | 3.5  |
| フェーズ 4 | 3.7  | 4.0  | 3.8  | 3.8  | 3.5  |
| フェーズ 5 | 3.6  | 3.6  | 3.6  | 3.7  | 3.5  |

平均ロード量は、1 フェーズ当たり 3.66 g でした (9.15 g/h)。平均値から得られた各フェーズの偏差を表 2 に示します：

表 2：平均値から計算したスートロードの偏差

|        | 1 日目  | 2 日目  | 3 日目  | 4 日目  | 5 日目  |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| フェーズ 1 | -1.7% | -1.7% | +1.0% | +3.7% | +1.0% |
| フェーズ 2 | -4.5% | +3.7% | +6.4% | +1.0% | -1.7% |
| フェーズ 3 | +1.0% | -4.5% | -4.5% | +1.0% | -4.5% |
| フェーズ 4 | +1.0% | +9.2% | +3.7% | +3.7% | -4.5% |
| フェーズ 5 | -1.7% | -1.7% | -1.7% | +1.0% | -4.5% |

共分散 (COV) は 3.7%、最大偏差は 9.2%で、平均値の 13.7%以内の範囲に入っていました。

更に 1.5 時間かけた一連の 5 回ロードで約 1 ヶ月間行った結果から、長期間に亘る検証データも得られました。これらのテストに対する以下のスート濃度も、AVL415 を使ってモニタされました。

それらのデータを以下に示します：

表 3：1.5 時間のテストで長期間行ったスートロードの再現性

| テスト年月日    | 秤量スートマス<br>(g) | 平均値からの<br>偏差 (%) | AVL415 から計算<br>したスートマス (g) | 秤量マスとの差<br>(%) |
|-----------|----------------|------------------|----------------------------|----------------|
| 7-Dec     | 15.7           | -1.8%            | 15.4                       | -2.2%          |
| 20-Dec AM | 16.8           | +5.1%            | 16.7                       | -0.7%          |
| 20-Dec PM | 16.3           | +20%             | 15.9                       | -2.7%          |
| 22-Dec    | 15.8           | -1.1%            | 15.6                       | -1.3%          |
| 05-Jan    | 15.3           | -4.3%            | 15.2                       | -0.6%          |

COV は 3.6% で、平均値の 9.4% の範囲となっています。

長期の時間軸に亘る DPG の発生スート量はドリフトすることがあるためモニタしなければならず、必要に応じて Cambustion の取扱い説明書「DPG016」に従い設定値を正す必要があります。

スートのマス流量は燃料の組成や、テスト中のフィルタ (DPF) の材質やコーティングによっても影響を受けることが注意するとことです。

- ・ バイオディーゼルのブレンド燃料では、ノンバイオディーゼル燃料と同じ設定でも、酸素含有量の関係により極めてスート量が低くなります：バイオディーゼル燃料の比率が 10% を超えると、DPG によるスートの生成能力は制約されることになります。
- ・ 触媒フィルタのコーティングでは、DPG を流れる気相成分の吸収が増えることが観測されるため、秤量によって計測されたスートマス流量の増加は約 5% に留まっています。

### 1.1 AVL415 でモニタするトータルスートロード

フィルタ (DPF) をロードし、再生テストを目的として DPG を使用する場合には、上記で述べたスート発生量に頼り、必要なスート量を正確にロードさせることが求められます。スモークメータ AVL415 が DPG へ接続されている場合には、DPF の入口側スート濃度を定期的に測定できるようなシステムを構成し、その測定値からフィルタに付着したスートを推定します。本システムは、スート量が目標レベルに達すると自動的にロードを終了します。

上記の表 3 に示したテストでは、本システムに AVL415 を接続し 5 分毎にスート濃度を測定できるようにしたものです。これらの測定値から計算したロード量を、秤量から得られたマスのエラー分と共に表にしたものです。

これらのテストで AVL415 は、秤量マスと較べて -0.6% から -2.7% の範囲と見込み、平均値で -1.5% の周囲で 2.1% の範囲となっています。AVL415 でもたらされたロードの推量は、平均ロードの約 2% 以内で散らばっています。要求されたスートロードを成し遂げる絶対精度は、このバラツキに AVL415 のシステム的なキャリブレーションエラーを加えた総和となります。Cambustion の手順書「DPG016」に従えば、このキャリブレーションエラーは通常 2% 以内納まっています。

スートロードを開始するための AVL の使用は、無人運転でのロードを可能とし、ロードの開始時や終了時におけるフィルタ秤量の必要性を排除することにもなります。

### 1.2 トップアップロードによるトータルスートロード

フィルタ (DPF) へ正確なトータルスートロードを行うため DPG には、内蔵のトップアップロード・スケジュールが備わっています。このスケジュールではフィルタの秤量を 3 回行います；最初

はテストの開始時点でフィルタが空の時、次は必要なスートロード量の 80% (ほぼ) になった時、最後はロードの終了時点となります。2 回目のフェーズ期間は、最初のフェーズで測定したスートロードを基準にして自動的に調整されます。

以下に示す表は、トップアップスケジュールを使用して 6 回のテストで測定した目標スートロードの達成精度を示しています：

表 4：トップアップスケジュールを介したロードの精度

| テスト年月日     | 目標ロード (g) | 実ロード (g) | エラー (%) |
|------------|-----------|----------|---------|
| 2011-04-07 | 31        | 31       | 0%      |
| 2010-10-22 | 32.9      | 32.6     | -0.9%   |
| 2011-03-08 | 26.4      | 26.6     | +0.8%   |
| 2011-04-06 | 37        | 36.8     | -0.5%   |
| 2011-10-21 | 24.7      | 24.5     | -0.8%   |
| 2011-02-25 | 32.7      | 32.6     | -0.3%   |

目標ロードの結果から得られたエラーの標準偏差が、6 回のテストで 0.6% となりその範囲は 1.7% になっています：この手法を使えばスートロードは通常、要求されたロード量の 1% 以内に納まります。

## 2 空フィルタ (DPF) の背圧再現性

空のフィルタを取り付け設定流量で測定された背圧は、流量測定や背圧、温度、および大気圧変化補正の精度等による影響を受けます。

これらのファクタに対する精度仕様は：DPF の流量が  $\pm 5\%$  (100 kg/h 以上で)、温度は読み値で  $\pm 1\%$  の  $\pm 1^\circ\text{C}$ 、背圧測定は読み値の  $\pm 1\%$  で  $\pm 0.05 \text{ mbar}$  となっています。これらを合計すると 7% 以上の測定エラーとなりますが、総合的な再現性は事実上これより良くなっています。

表 5 は異なる 3 ヶの DPF を使い、それぞれ 5~6 回測定した背圧の測定結果を示しています。

すべての測定は、流量 500 kg/h、温度  $45^\circ\text{C}$  で行った結果となります。

表 5：500 kg/h、 $45^\circ\text{C}$  で行った空フィルタの背圧測定 (2009-05-22)

| 供試品            | 1     | 2     | 3     |         |
|----------------|-------|-------|-------|---------|
| 測定圧力<br>(mbar) | 37.76 | 36.75 | 38.85 |         |
|                | 37.83 | 36.90 | 39.04 |         |
|                | 37.93 | 36.99 | 38.85 |         |
|                | 37.77 | 37.11 | 39.09 |         |
|                | 38.03 | 37.12 | 39.16 |         |
|                |       |       | 39.20 |         |
| $\mu$ mbar     | 37.86 | 36.98 | 39.03 | overall |
| $\sigma$ mbar  | 0.11  | 0.15  | 0.15  | 0.14    |
| COV            | 0.30% | 0.41% | 0.39% | 0.37%   |

これらの測定における総 COV は、測定した背圧の 0.37% となっています。

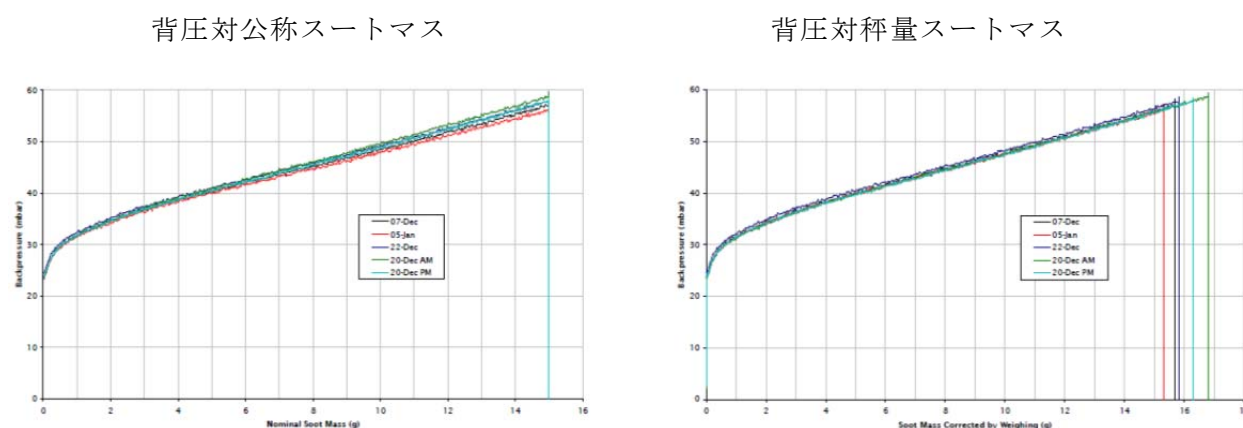
### 3 ロード済み DPF 背圧の再現性

規定のスタートロードを行った状態で背圧の測定に DPG を使用する際は、スタートの 特性変化や DPF に捕集されるスタートの見込み質量エラーと同様、空 DPF の背圧測定に影響を及ぼすすべてのファクタ類が測定精度に影響します。

スタートの見込み質量エラーを最小限にするため、テストの前後で DPF を秤量し、そのテストにおける公称スタートロードが秤量値と合うようスケーリングされます。標準的なテスト手順は、目標よりやや高いスタートレベルにロードを行い、マスの補正をしてから必要なマスになった時の背圧を読み取ります。これらの計算は DPG のソフトウェアで自動的に行われます。

このスタート量の補正効果を Fig. 1 に示します。

Fig. 1 : 背圧に対する公称、および秤量スタートマスの比較



以下の表は、表 3 で示す 5 回のテストから測定された背圧をまとめたものです：

表 6 : 秤量マス 12 g での背圧測定結果

| テストデータ    | 12 g での背圧 (mbar) | 平均からの偏差 |
|-----------|------------------|---------|
| 7-Dec     | 50.9             | -0.1%   |
| 20-Dec AM | 50.9             | -0.1%   |
| 20-Dec PM | 50.7             | -0.4%   |
| 22-Dec    | 51.4             | 0.9%    |
| 05-Jan    | 50.7             | -0.4%   |

このデータは、平均値の 1.3% 内における 0.5% の背圧測定を示しています。スタートの特性や背圧も、使用した燃料に依存することになります (ロードされた時の背圧によっては、数% のバラツキになることがあります) : 上記のデータすべては、一種類の燃料を使って得られたものです。燃料のロットが変更される (た) 前と後では、燃料の依存性を比較するため同じ DPF を使ってロードを行うことをお勧めします。

### 4 背圧の再現性

Cambustion は、平均の ±3%以内に入る異なる測定器でロード背圧の測定を行うよう心がけています。これが測定器自身の仕様だけでなく、すべての測定手順で良好なコントロールを必要とするためです。

以下のデータは 2009 年の 5 月から 6 月にかけて異なる 5 式の DPG を使い、1 つの DPF へ 2 g と 10 g の条件でロードした時の背圧を示しています。A, B および E の DPG ユニットは Cambustion で、その他のテストは納入先の現場で行ったテストとなっていますが、そこには Cambustion のスタッフが立ち会っています。

表 7: 2 g および 10 g ロードにおける背圧の再現性

| DPG ユニット | 2 g ロードでの<br>背圧 (mbar)                    | 平均値からの<br>偏差                   | 10 g ロードでの<br>背圧 (mbar)                   | 平均値からの<br>偏差                   |
|----------|---|--------------------------------|---|--------------------------------|
| A        | 38.0                                      | +0.3%                          | 62.6                                      | +0.5%                          |
| B        | 38.1                                      | +0.5%                          | 61.7                                      | -1.0%                          |
| C        | 37.2                                      | -1.8%                          | 61.8                                      | -0.8%                          |
| A        | 37.4                                      | -1.5%                          | 62.3                                      | 0.0%                           |
| D        | 37.7                                      | -0.6%                          | 61.9                                      | -0.7%                          |
| E        | 38.1                                      | +0.5%                          | 61.6                                      | -1.1%                          |
| E        | 38.9                                      | +2.6%                          | 64.3                                      | +3.2%                          |
|          | $\mu = 37.9$ mbar<br>$\sigma = 0.56$ mbar | $\sigma = 1.5\%$<br>range=4.5% | $\mu = 62.3$ mbar<br>$\sigma = 0.95$ mbar | $\sigma = 1.5\%$<br>range=4.3% |

これらの結果のうち、ひとつは±3%の目標レンジから外れています：そのユニットのモニタをしながら、操作手順の改善が続けられています。