

次世代 VT-SHED 設備の研究・開発および海外調査

佐浦 毅 *
Saura Tsuyoshi

前田 朝樹 **
Maeda Tomoki

和泉 大典 ***
Izumi Daiten

当社は超小型 VT-SHED (0.1m³) から車両用 VT-SHED (100m³) まで客先要望に応じた VT-SHED 設備を多数設計・製作してきた。燃料蒸散ガス規制は年々厳しくなっており、国内ユーザーから VT-SHED 設備にも価格を抑制しつつ高性能化が要求されている。また、燃料蒸散ガス規制は製品に対するものだが、規制内容によっては VT-SHED 設備仕様も変更する必要があるため最新の規制内容を把握し柔軟に対応する必要がある。本研究では VT-SHED 設備の研究・開発および日々変化する各国、各地域のレギュレーションの調査結果を紹介する。

キーワード：VT-SHED、燃料蒸散ガス、CARB、EPA、FEM 構造解析、THC 発生量

1. はじめに

VT-SHED 設備（蒸散ガス試験設備）は EPA (Environmental Protection Agency = アメリカ合衆国環境保護庁)、CARB (California Air Resources Board = カリフォルニア大気資源委員会) および EU、中国環境規制の Restriction にある Evaporative Emission (燃料蒸散ガス規制) に適合するために必要な試験設備である。

当初の規制は自動車のみの規制であったが、近年ではオートバイ (ATV: All Terrain Vehicle: 全地形型車両)、小型汎用機 (発電機、草刈機等)、2012 年からは小型船舶機関と石油燃料を使用するほぼ全ての内燃機関が規制対象となる。今後導入予定のユーロ 6 (2013 年適応) やユーロ 7 規制

にてフロン (冷媒ガス) の透過量規制やアンモニアの排出量の規制が予定されており、使用素材において THC (トータルヒドロカーボン) 発生量だけでなくフロンおよびアンモニアの発生量を測定・分析する必要があると推測される。

本報告では客先ニーズにあった SHED 設備の研究・開発の結果および日々変化する各国、各地域のレギュレーションの調査結果を示す。

2. 世代型 VT-SHED 設備

現在製作している全溶接工法での SHED 設備は性能に関してはレギュレーションと比較すると全く問題ないが、安全面で万全かどうかの確認が十分とはいえない点があった。

安全対策として消火設備を SHED 設備に導入

* ジャブス事業部 技術部 技術グループ 課長
** 研究開発事業部 解析技術部 課長
*** ジャブス事業部 技術部 技術グループ

することがあり、性能だけではなく安全も考慮した SHED 設備とするため再設計後、構造解析を行った。

一方、客先の試験設備の導入費用に見合った価格としなければならず、この点からの見直しも必要になっていた。

そこで要求性能を満足し、安全性に優れ、かつ、より安価な設備である次世代型 VT-SHED 設備の開発を目的として実施した設計・製作面の検討について紹介する。

2.1 設備の安全性検討

現在製作している全溶接工法での SHED 設備における室内 SUS パネルは厚さ $t = 2.0\text{mm}$ を使用して製作しているが、以前はパネル工法を採用していた。今回、室内パネルを厚さ $t = 0.8\text{mm}$ の全溶接工法および恒温槽に使用される断熱パネルにて製作するパネル工法にて部品用 SHED (5.5m^3)、二輪・ATV 用 SHED (25m^3)、実車用 SHED (75m^3) の 3 タイプで再設計した。

これらについて消火設備作動時の安全性について構造解析を実施すると共に製造費用についても比較検討した。

以下に解析モデル・解析結果について示すが、実車用 SHED に関して室内パネル厚さ $t = 0.8\text{mm}$ の製作は技術的に可能であるが、強度の問題から一部パネル厚さを変更する必要があるものの製造費用も低減することが可能となることを確認した。

2.1.1 FEM による構造解析

新型 VT-SHED の強度を検証するために、FEM (有限要素法) による静応力解析を実施した。通常 VT-SHED には自重のみが作用するが、火災が発生した緊急時には室内に設けられた消化設備が作動する。この消化設備が作動した際に VT-SHED が大きな破損を生じないことを検証した。

2.1.2 解析モデル

今回実施した FEM 解析は、表 1 に示す 9 ケースに対して実施した。解析モデルは 4 節点シェル要素にてモデル化し、内側から消火設備が作動した際に発生する圧力 ($p = 1.0\text{KPa}$) を載荷する。

解析モデルの例として、容量が 75m^3 、ステンレス製板の板厚が 0.8mm であるケース 7 について図 1 に示す。解析で使用した材料は全て等方性の線形弾性材とした。それらの物性値を表 2 に示す。境界条件としては床面に設置する箇所の全ての節点を完全固定とした。

2.1.3 解析結果

結果の例としてケース 7 について、変形図および Von Mises の相当応力分布図をそれぞれ図 2、3 に示す。また、各ケースにおける Von Mises の相当応力と最大変位量を表 3 にまとめて示す。これらの表より、板厚を 2.0mm もしくはパネル構造としたものは発生する応力も降伏応力と比べて低く、最大の変位量も 10 数 mm 程度となっており、強度の面で特に問題はないと考えられる。一方で板厚が 0.8mm のものはいずれの容量においても発生応力が降伏応力を大きく超えており、また変位量も 100mm 以上となっているため補強が必要であると考えられた。

2.1.4 補強案に対する解析

上記のように板厚が 0.8mm のものは強度が不足していると考えられるため、その対策として柱の数を増やし、側面のステンレス製板の板厚を 1.0mm とした。柱の数を増やすだけで板厚を増やさないことも考えられたが、発生応力が降伏応力の 2 倍以上発生していることを考慮すると、必要な柱の数が多数になり、重量も板厚を 1.0mm とするよりも増えることが予想された。また、柱の数を増やすことは溶接箇所が増えることであり、

製作にかかる工数も増えてしまうことになる。以上を考慮して板厚を柱による補強と板厚増加を併用することとした。

この補強による効果を検討するために、容量が75 m³に対して図5に示すモデルを用いて再度FEMによる解析を実施した。解析の結果得られた Von Mises の相当応力と変位量の最大値を以下に示す。また解析結果を図6に示す。

- 最大相当応力 133.3MPa
- 最大変位量 35.5mm

補強を施すことにより応力が降伏応力の6割程度まで低減され、強度的な健全性を確認することができた。また、変形もほぼ一様なものとなっており、柱による補強がほぼ最適なものとなっていると考えられる。

表1 解析ケース一覧

ケースID	VT-SHED の容量(m ³)	板厚(mm)or パネル
1	5.5	0.8
2	5.5	2.0
3	5.5	パネル
4	25	0.8
5	25	2.0
6	25	パネル
7	75	0.8
8	75	2.0
9	75	パネル

表2 解析で使用した物性値

	SUS304	STKR	ガラス
ヤング率	190 GPa	210 GPa	71.6GPa
ポアソン比	0.26	0.28	0.23
質量密度	7700 kg/m ³	7800 kg/m ³	2500 kg/m ³
降伏応力	206 MPa	245 MPa	---
使用部位	壁, ドア	角型鋼管	窓

表3 解析ケース一覧

ケースID	Von Mises の相当応力 (MPa)	最大変位量 (mm)
1	492.9	132.8
2	49.7	7.75
3	17.1	1.4
4	378.5	149.0
5	42.7	11.2
6	26.5	3.6
7	476.7	214.8
8	73.3	13.4
9	57.2	6.8



図1 ケース7の解析モデル図
(容量75m³、SUS304の板厚0.8mm) - 鳥瞰図

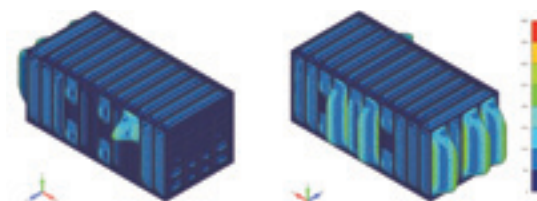


図2 ケース7の解析結果
(変形図と Von Mises の相当応力図) - 鳥瞰図
変形倍率5倍

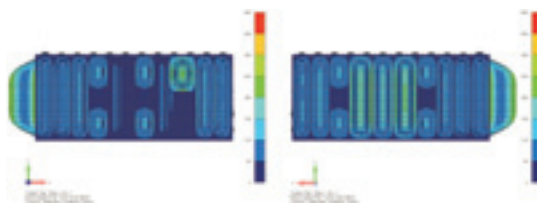


図3 ケース7の解析結果
(変形図と Von Mises の相当応力図)
- 左右側面図
変形倍率5倍

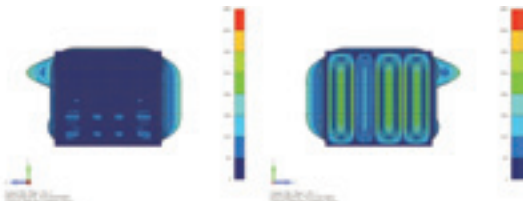


図4 ケース7の解析結果
(変形図と Von Mises の相当応力図)
- 左：正面図・右：背面図
変形倍率 5 倍

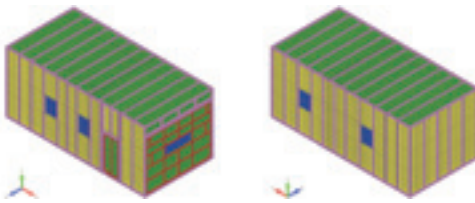


図5 補強案の解析モデル図 - 鳥瞰図

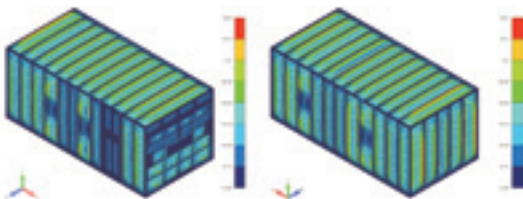


図6 補強案の解析結果
(変形図と Von Mises の相当応力図)
変形倍率 5 倍

2.2 パネル工法の使用素材選定

パネル工法は全溶接工法に比べ SHED 駆体製作費が安価である。しかしコーキングを使用したパネル接着工法の場合、コーキング材が石油化合物製品のため HC (ハイドロカーボン) が発生するので試験体からの HC 発生かコーキング材からの HC 発生物かの特定が困難である。全溶接工法の性能は有利であるがパネル工法も価格的には無視できないため、本研究では性能を満足でき、かつ、製造費用を抑制することを目的としてコーキング材の HC 発生量と減少量を測定し、使用可能なコーキング材を検討した。

2.2.1 コーキング材の選定

コーキング材の選定に当たっては下記の項目を条件とした。

- ・ HC 含有量が少ないこと
(エージング時間の短縮 = BG 性能、費用の抑制)
- ・ HC 減少量が早いこと
(エージング時間の短縮 = BG 性能、費用の抑制)
- ・ 接着性が良好なこと
(SUS パネル使用 = 気密性確保)
- ・ 施工性が良好なこと (側面、天井面の施工性)
- ・ 市販品であること。(入手性、費用の抑制)

2.2.2 コーキング材 HC 発生量・減少量の測定結果

要件を満たす検体を下記条件で試験を行い測定した。それらの結果を図8に示す。

- ・ 専用治具にコーキング材を塗布し 25℃にて 1 時間放置後 SHED にて CARB/24h テスト (発生量)
 - ・ テスト後 45℃にて 72 時間エージング後 SHED にて CARB/24h テスト (減少量 1 回目)
 - ・ テスト後 45℃にて 72 時間エージング後 SHED にて CARB/24h テスト (減少量 2 回目)
- 当社 VT-SHED 設備を図7に、性能を表4に示す。



図7 VT-SHED

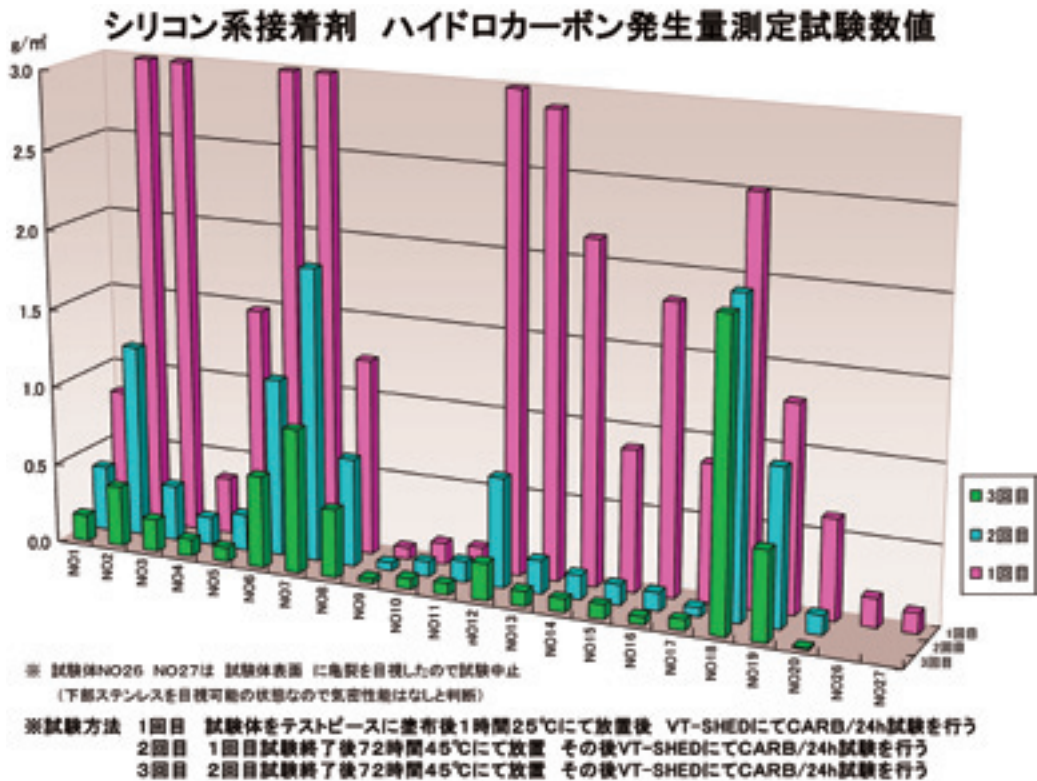


図8 コーキング材 HC 発生量 / 減少量測定

表4 当社 VT-SHED 性能

1	温調精度	平均 ±1.1℃以内 瞬時 ±1.7℃以内
2	室内循環風量	1.6m ³ /min
3	室内圧力変動	±500Pa 以内
4	HC 発生量(B.G)	0.0008g/(CARB/24h)
5	HC 気密保持	1.1%(CARB/24h)
6	室内容積	1.6385m ³ /min

27 検体を同条件にて試験した結果、図8に示すように、初期 HC 発生量が多いが減少量が早いものや初期より良好なものまでさまざまな結果が得られた。

初期値発生量に関しては成分よりおおよその予測は可能だが減少量は予測が困難であったため本試験結果から得られたデータは大変有益なものである。

今後は、この結果をもとにパネル工法にて性能と費用面の両者を満足する設備の実現を目指していきたい。

3. 海外調査報告

CARB、EPA および EU、中国の最新レギュレーションを調査・入手し、規格・仕様を再確認することを目的として、エバポエミッション等の規制の先端であるアメリカを訪問し、CARB、EPA、エバポ関連各社（Webber EMInc）等を訪問・調査したのでその概要を紹介する。

3.1 EPA

世界で一番厳しい法規を国として設定しようと日々研究しているが、EPA 各種設備見学した結果、EPA では総合的な環境設備の研究所新設を現在検討しているものの予算が無いため進捗していない様子である。新たな規制値を定めるためには、規制値の実現性を含めて検証しなければならないが、予算不足のために十分な研究が実施できず新たな法規が制定できていない。その結果、先行している CARB に準拠するような規制値を採用している。

EPA は政府予算で運営されているので厳しい予算の影響を受けて、試験研究設備の更新も制約されることがあり、設置されている装置には老朽化が進んでいるものが多数見受けられた。

3.2 CARB

現在 SHED 関係の法規での最優先課題は ATV (注釈 1、図 9) および 2 輪関係であり、何よりも優先されていた (中国からの輸入が多すぎたため現在試験待ちが 600 台程度あった)。

EPA よりも自由に発案施工ができ (予算は CARB だけの決定)、現在は CARB と EPA の統合等も考えているようである (図 10 ~ 13 に試験状況を示す)。

注釈 1 ATV は各国 2 輪メーカーが非常に力を入れ、開発を行っている。レジャーでの使用はもちろんだが、アメリカの農場などで昔は馬を使っていたが現在は馬に乗れない人間が非常に増加しているため、農場などでの使用に必要という背景がある。



図 10 CARB 入り口



図 11 VT-SHED での試験待車



図 9 ATV



図 12 試験待ち車両



図 13 ガソリン検査



図 15 通気管

3.3 アメリカエバポエミッション関連会社 (Webber EMInc)

当事業部と同じような業務展開も行っている関連会社（Webber EMInc）を訪問した。

米国では連邦法人税の他に州法人所得税が課せられ、この税率は州ごとに相違し、テキサス、ワシントン、ネバダなどの州では課税されない。

Webber EMInc 社は、非課税のネバダ州に隣接して税負担の大きい CA 州で事業を行っているが、事業運営には迅速で正確な CARB の詳細情報を入手する必要があるので税負担が大きくても CA 州で事業を行っている。

前章で述べた研究（コーキング材）と同様の研究も行っており NASA で使用するコーキング材も共同研究している。

VT-SHED を利用した今までと違う試験方法などの知見も得られた。（CIA より発注）



図 14 現在製作中の VT-SHED



図 16 燃料蒸発ガス回収設備

3.4 ガソリンスタンドでの燃料蒸散ガス

車両からの燃料蒸散ガス排出も問題だが、ガソリンスタンドでの蒸散ガス排出も大きな問題になっており、アメリカではガソリンスタンドに蒸散ガスを回収するシステムが組み込まれていた。

（図 15、16）

現在日本でも問題視され始めており給油機が 8 機程度ある比較的大きめのガソリンスタンドであれば月に約 30 万円から 50 万円程度のガソリンの蒸発による損失があるとのことであった。

3.5 その他

現在アメリカ国内の主流はガソリンエンジン車だが、コスト・環境影響を考えるとディーゼル車も選択肢に十分入ってくるがアメリカでディーゼ

ル車はうるさい・遅い・黒煙等の感覚が根強くあるため普及には時間が掛かる模様である。

一方、アルコール混合ガソリン車(バイオフェューエル車両として市販はしている)は研究がまだまだ必要とのことで政府の資金により建設中の設備を見学した。

政府の資金により全米にある各社個別アルコール燃料研究施設を集約して開発速度を上げるとともに開発費用の低減を目的とし、現在は10社が参加する予定で準備中とのことであった。

3.6 アメリカ訪問調査のまとめ

関係各所の試験施設はレベル的には日本のメーカー所有施設と同等と認識できた。

現在、米国における最大の問題はアジアからの輸入品に対する規制(特に中国製品に対する規制)が一番とのことであり、世界の基準は現在 CARB から動いていることを考えると今後も継続して今回訪問した関連会社および各機関と連絡を取り、継続的に調査することが望ましい。

4. まとめ

本研究にて各タイプの SHED 設備で、レギュレーション性能、安全性を維持しつつ価格を抑制し、客先ニーズに応じた SHED 設備を提供・提案可能となった。

また、日本とアメリカでの燃料蒸散ガス測定に対する設備の考え方の違いも現地調査にてより明確に把握することができた。



ジャプス事業部技術部
技術グループ 課長
佐浦 毅
TEL. 0565-28-0581
FAX. 0565-27-9621



研究開発事業部
解析技術部 課長
前田 朝樹
TEL. 045-759-2127
FAX. 045-759-2119



ジャプス事業部 技術部
技術グループ
和泉 大典
TEL. 0565-28-0581
FAX. 0565-27-9621