

# 廃プラスチック建築を活用したイノベーション環境形成 成果報告書

政策・メディア研究科 産学連携研究室 博士課程2年 徳島泰

## 1. 概略

イノベーションを用いた地域開発はこれまで、主に先進国の大都市において活用可能なものであると考えられてきており、中規模以下の都市の地域開発と経済振興においては、イノベーションは積極的に活用されてこなかった。イノベーションこそが経済振興と地域開発のドライバーであるとの立場に立ち、開発援助の使命に照らして考えるならば、イノベーションを用いた地域開発を途上国のルーラルエリアへ向けた経済振興の手段として扱えないことは、看過できない開発援助の大きな限界となる。

しかし最近になって、開発援助の文脈でも、ガーナやケニア、アフガニスタン、インドの田舎のFabLabなどを中心に、開発途上国におけるイノベーションの創出の事例が多数報告されるようになった。とりわけ、地域や個人の問題を自分たちで解決しようとする、市民による「問題解決型デザイン」が盛んになっている。とりわけ、市民工房「FabLab」を中心として行われる、インターネットを介して共有されたデータを利用する相互的な問題解決型デザインは、「オープン・イノベーション」と呼ばれ、世界的に勢いを増している。

しかしながら発展途上国の、FabLabなどのオープンイノベーション施設の安定した運営とイノベーション・エコシステムの構築には、材料調達の面で大きな課題が残されている。低開発地域に位置するFabLabでは、主たるユーザーは1.25 USD/日以下で生活する貧困層（世界銀行基準）であるので、板材などの簡素なマテリアルさえも購入できないことが多く、このためにモノをつくるのが非常に難しいためである。

その一方で、多くの発展途上国の低開発地域では、FabLabで用いるための材料の原料とすべき廃プラスチック等が、焼却・再生・販売などのいずれの処理も不可能で、ダンプサイトなどにただ放置されたまま、ゴミ山となっている。ゴミ山およびその周辺地域は、環境悪化・汚染、治安悪化による凶悪犯罪や、スカベンジャー行為による児童労働など、多くの問題の温床となることが多い。

以上により私は研究テーマを「廃プラスチック建築を活用したイノベーション環境形成」と設定し、これまで主に大都市に活用されるのみであったイノベーションを用いた地域開発・経済振興について、FabLabを用いてイノベーション環境を構築することで、途上国のルーラルエリアへ援用することができ得るのか、その可能性を明らかにすることを研究設問として研究を行う。

本研究では、このゴミ山の主たる廃棄物であるプラスチック等の低価格廃棄物に関して、

- ・再生加工により、超低価格マテリアルを獲得し、
- ・このマテリアルにより問題解決型デザインを行う

ことで、「低開発地域におけるFabLab運営のための材料調達の問題」と、「焼却・再生・販売などのいずれの処理も不可能なゴミの放置の問題」の、両問題を同時に解決することを目的とし、それにより成る「資源循環型ファブリケーション社会」の形成を目指すものである。

## 2. 研究成果

上記の研究を進めるために、まず、いかにして途上国のルーラルエリアにおけるイノベーション環境の構築を行ったのちにこれを利用するユーザーの獲得を目的とした途上国ルーラルエリアにおける住民開発を行い、リサイクルプラスチックを用いてもつくりを行うことができるイノベーション環境の構築に先ず必要である、超小型プラスチックリサイクルマシンの設計・製作を同時に行った。また、フィールドとしては、世界ではじめて途上国開発事業として国際援助により設立がなされたFabLabがある、フィリピン国ボホール州タグビララン市を選定した。

これまで筆者は途上国開発において必要されるイノベーションについて定義を行い、修士研究ではJICA研究所より論文を発表しているが、本論部において、途上国開発では、これまでのマスプロダクション・マスコンサプションを前提としたグローバル経済と対比した、パーソナル・ファブリケーションやパーソナル・コンサプションからなる「ローカル経済」を向上させることが必要、として、このためのイノベーションを「コンテクスチュアライズド・イノベーション」と定義した。また、このイノベーションは、より狭い地域や、特定の組織、個人の、特定の状況を改善する、特定の文脈に密着したもの、として同時に定義した。また同じ修士における研究として、米国CSIS、JICA研究所、および野村総研と共同にて調査を行い、これにより、ファブラボは設備的にも受け入れ人数のキャパ的にも限られているため、単体では地域経済を向上し得るイノベーション環境としては弱い面があること、またコマースプロダクトの開発に対応しうるファブラボplusという高機能なファブラボや、ルーラル地域の潜在的イノベーターを教育するために多数必要となる低コストなラボが、同地域に同時に展開できれば、多数の潜在的イノベーターを受け入れ利用者の母数を増やしつつ、同時にイノベーションのクオリティを向上させることができるといふ仮説を立てた。

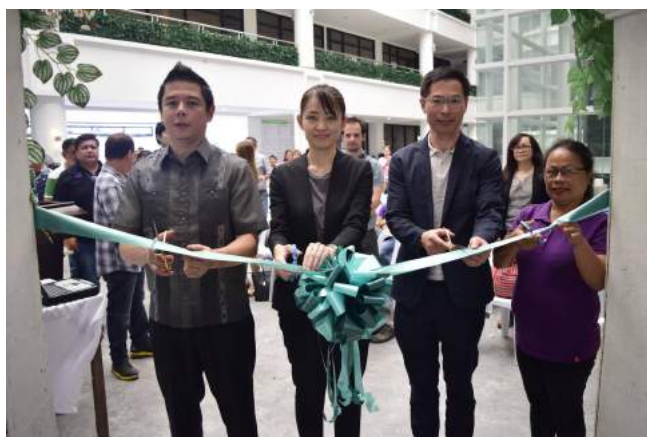


図1) JICAプロジェクトのオフィシャルローンチの様子

これを受け、博士課程入学からを実証フェーズと位置づけ、当該のフィールドにおいて、国際協力機構（JICA）の「草の根技術協カスキーム」を用いて、イノベーションによる向上を狙うプロジェクトとして、「フィリピンボホール州タグビララン市におけるプラスチックリサイクル事業による女性の所得向上プロジェクト」をプロジェクトマネージャーとして進めることで、実証調査・研究を進めている。

この草の根技術協カスキームへのアプライに関しては、国際協力機構のファンディングの元、現地タグビラン市役所をカウンターパートとして、また現地貿易産業省や、ボホール島州立大学として、2018年2月7日に正式ローンチを迎えることができた。



図2) ローンチセレモニーでの筆者によるスピーチ



図3) ローンチセレモニーでの市長によるスピーチ

また、リサイクルプラスチックを用いてもものづくりを行うことができるイノベーション環境の構築に先ず必要である、超小型プラスチックリサイクルマシンの設計・製作においては、ローカル・イノベーションを現地ローカルビジネスとして走らせ得る、現地にてローコストで製造でき、メンテナンス費等も超低コストで修繕がしやすいことを設計思想としてこれを行った。



図4) 現地製作のプラスチックリサイクルマシン (試作機)

これは研究フィールドとなるFabLab Bohol発のプロジェクトとして、本研究代表者(徳島)、現地青年海外協力隊員、タグビラン市政、DTI、FabLab Boholの共同で2012年より進められてきたもので、タグビラン市の全市民が、徒歩圏内に廃棄物を持ち込めるリサイクル施設を得るために、既に、市内の全町となる15箇所(15町)に、超小型リサイクルマシンの一種である小型ヒートプレス機の設置を行うものである。

現在、3箇所のパイロット施設(ポブラシオン1町、コーゴン町、ダンパス町)に、著者の設計したヒートプレスマシンの配備を行って、パイロット稼働を行ってきた。

### 設計)

電子部品・ヒーター部品等の現地生産不可能なものは除き、全ての部品を現地で購入し得る部材にて生産でき得ることを設計思想とし、コスト性を高める設計を行った。

前期パイロット稼働中に発煙・炎上がおこるといった問題が発生したので(添付資料1参照)、プレス部のヒート部の放射熱計算等は、SolidWorksを用いてシミュレーションにて行い(添付資料2参照)、

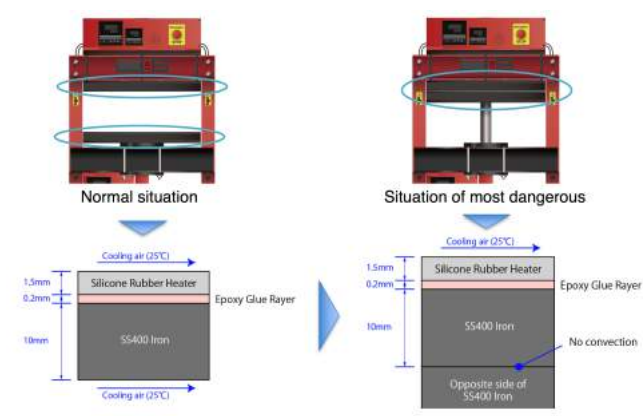


図5) 熱解析シミュレーション概念構成図

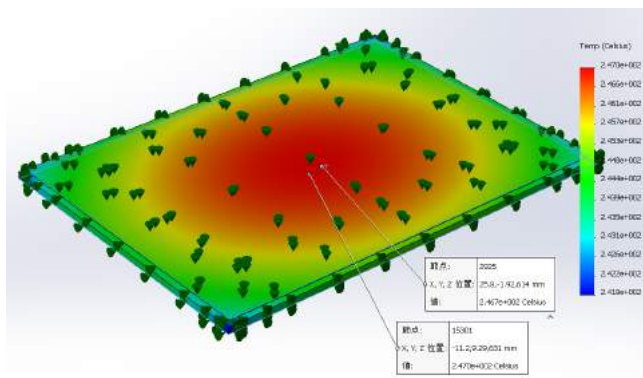


図6) SolidWorksによる熱解析シミュレーション

### Topology Study Results

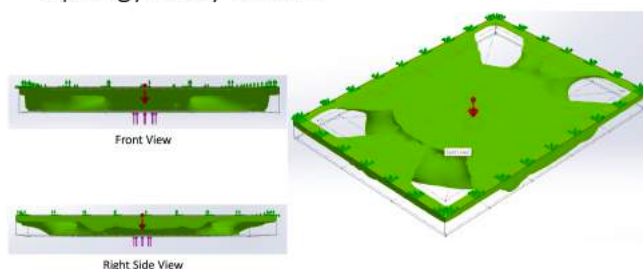


図7) トポロジー解析によるジェネラティブデザイン



また機械強度を確かな設計とするために、近年発展が著しいジェネラティブデザインのデザインアプローチを取り入れ、トポロジー解析を主としてシミュレーションを行いながらパラメトリックに設計を行う手法で設計を進めている。



図8) 現地プロジェクトオフィスにおける設計会議の様子

このヒートプレス機は、2018年3月に完成し、4月より調達と製造を行い、6月後半から7月にかけて、市内の全町となる15箇所（15町）に配備される予定である。



図9) プロジェクトにて製作される予定の製品群  
(パイロット施設において住民により製作)

### 3. まとめ（研究の大きな目的と今後期待される成果）

本研究は、昨今の3Dプリンタ等のデジタル・ファブリケーション技術の進歩と、ICT網の普及によってもたらされた、新たな形の国際協力援助の手法によって成り、またその手法を飛躍させるものである。このような国際協力援助の手法は、これまで開発援助業界における目立った実例が存在せず、未だ呼びかけが始まったばかりという段階であり、その面からもこの研究は意義深いものであると言える。

またさらに、本研究により実現される、超小型設備を住民が歩いてゴミを持ち込める距離間隔で、複数に分散して設置するというソリューションは、従来の大型設備を用いたりサイクル・システムが抱えていた『リサイクルにより削減されるCO2/LCAより、ゴミの収集時にガソリンの消費などで発生するCO2/LCAの方が大きい』という問題を解決可能な、画期的なソリューションであるとも言える。本研究が、これまで開発途上国の大きな社会問題となっていたゴミ問題を改善するアプローチとなり、さらに貧困層の住民の生活を

向上せしめることとなれば、世界の途上国での貧困問題の解決への一助ともなる。

### 5. 発表論文・講演等

#### <学会>

JICA Research Institute Publications: Yutaka TOKUSHIMA, Economic Development using an Enabling Environment for Contextualized Innovation: The Case of the "Poverty Reduction Project by Building-up the Innovation Environment Using FabLab", Bohol Province, The Philippines  
(査読なし学術論文)

#### <獲得研究費>

- 2014年度 経済産業省フロンティア・メーカーズの採択
- 平成27年度 神奈川県：エネルギー関連等ベンチャー事業化促進事業の採択：(株)SHCデザインとして
- 2015年度 JICA：中小企業海外展開支援事～基礎調査～：(株)SHCデザインとして
- 2016年度 JICA 草の根技術協力事業：ボホール州タグビラン市におけるプラスチックリサイクル事業による女性の所得向上プロジェクト

#### <その他学術的活動>

- ITU ジャーナル：徳島泰「FabLab を用いたイノベーション環境構築による貧困削減プロジェクト」… 2015. 2月号
- New Breeze: Yutaka TOKUSHIMA, "Creating an Innovative Environment with FabLab – Case study: Bohol, the Philippines" … Feb.2016
- (書籍)「海外でデザインを仕事にする」, 学芸出版社… 2017年1月25日
- 「オープン・イノベーションと開発」研究会実施結果報告書, JICA 研究所… 2017年1月31日
- CSIS – JICA 共同研究「途上国の持続可能な開発と貧困削減に寄与するイノベーション」(有識者)
- JICA 研究所 クローズド研究会: オープンイノベーションと開発研究会(有識者)

以上

# ヒートプレスマシンの発煙にかかる状況・原因調査 最終報告書

2017年12月19日

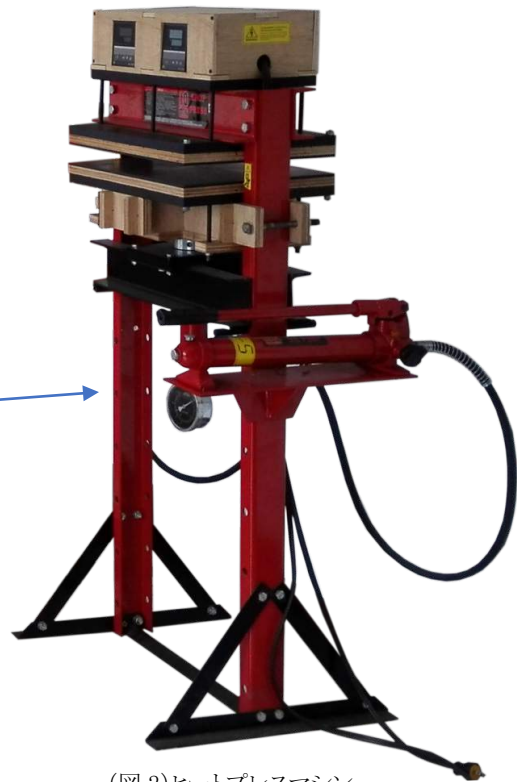
徳島 泰

## 1. 調査の経緯

比国貿易産業省ボホール支局(以下、DTI)とDTIに配属されていた高木元青年海外協力隊員が設計し、DTIが管理し、タグビラン市役所の予算にて執行されているプロジェクト(図1)において、DTIおよび菅野青年海外協力隊員によって運用されている、プラスチックリサイクル設備であるヒートプレスマシン(図2)について、ユーザーの女性からの「使用中に発煙があり心配している」という相談が、DTIに入った(伝聞のため、時期不明)。



(図1)DTIによるプロジェクトのポスター  
(慶應のロゴがなく関与がないことが解る)



(図2)ヒートプレスマシン

この相談を受け、DTIの上記プロジェクト担当者のジェローム・ガビン氏が、徳島がボホール島において独自研究資金により構成する現地研究チームに向けて、この原因を究明してほしいとの調査の依頼を行った(2017年10月下旬)。

上記ヒートプレスマシンの主設計者である上記高木元隊員は既に帰国してしまっており、この原因

<sup>1</sup> JICA ICT and Development, Plastic Up-Cycle by Heat Press Machine @ FabLab Bohol, <https://www.youtube.com/watch?v=kDmFIPYNfml&t=85s>, YouTube, 2016

究明調査ができるエンジニアリング人材が現地には見当たらなかった為、DTI ガビン氏が徳島チームに泣きついた形での依頼である。

徳島チームは、上記ヒートプレスマシンについては、直接的には設計・運用のいずれにも関与しておらず（現行バージョン以前の初期のプロトタイプにおいてのみ、徳島および現地エンジニアが設計支援・技術協力を行っていた）、設計内容も把握していなかったが、この依頼の“発煙”という状況を重く捉え、大きな事故が発生する前にユーザーの安全確保を行うべきであり、また、このような安全の確保のための原因究明は、現地では徳島チームにしか不可能であろうと判断し、ボランティアベースでこの依頼を引き受けた。

徳島チームはこの調査の開始に先駆けて、2017年11月7日にはDTI ガビン氏に、11月10日には菅野隊員に、現行ヒートプレスマシンの運用継続における危険性の説明を行って、一刻も早いユーザーの安全確保と即時の全台オペレーション停止、および即時の調査開始を願い出た。しかしながら、DTI・菅野隊員ともに、生産の必要性を理由にこれを無視（菅野隊員においてはこの時以降も個人的に新規注文を請けるなど）し、生産活動が継続された。

11月13日に徳島チームよりJICA フィリピン事務所の浅田様、武藤様に向けてEメールにて危険性をご進言させていただき、武藤様よりDTI ガビン氏に電話にてオペレーションの停止をお願いいただいた。この結果、11月20日頃(?)に生産活動が停止された。

11月23日にDTI ガビン氏より徳島チームに、現行ヒートプレスマシンの稼働が停止されていることが正式に知らされ、これを受けて11月27日より徳島チームによるヒートプレスマシンを解体しての、発煙の原因究明調査を開始した。本調査報告書は、この原因究明調査にかかる調査結果をまとめ、各ステイクホルダーに発煙の原因とヒートプレスマシンの状況を共有するためのものである。

なお、発煙の発覚から現在におよび、本件にかかるケガ人等は、一切発生していない。

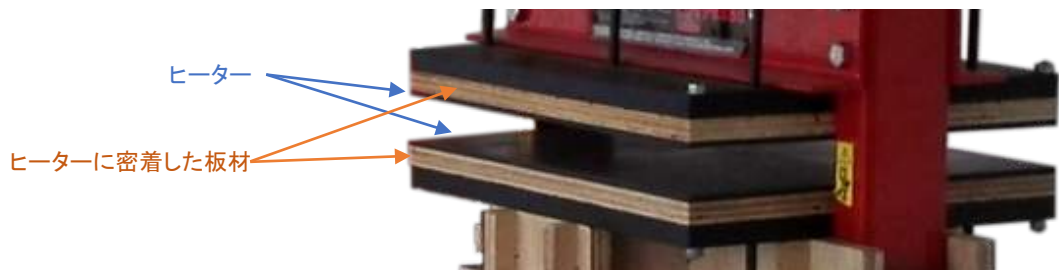
## 2. 調査結果の概要

12月8日までに、以下の3つのバラングイに設置されている計7台のヒートプレスマシン全台を解体して、発煙の原因調査を行った。

- Cogon:3台
- Poblacion II :2台
- Dampas:2台

この調査では、解体初期段階で、ほぼ全台のヒーターおよびヒーターに密着した板材(図3)に、広範囲ないし程度の大きい炭化が認められた(図4~10)。

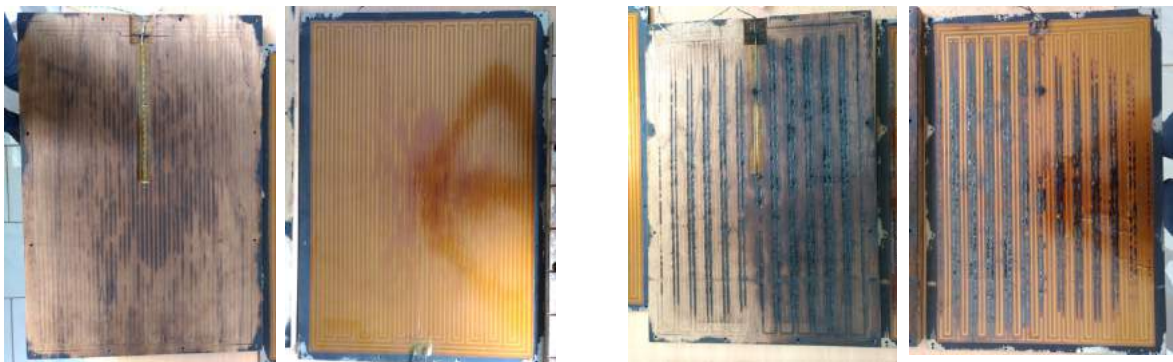




(図 3)ヒーターおよびヒーターに密着した板材



(図 4) Cogon 設置 1 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材 (上面:左、下面:右)



(図 5) Cogon 設置 2 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材 (上面:左、下面:右)



(図 6) Cogon 設置 3 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材 (上面:左、下面:右)



(図 7) Poblacion II 設置 1 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



(図 8) Poblacion II 設置 2 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



(図 9) Dampas 設置 1 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



(図 10) Dampas 設置 2 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



このため、主たる発煙発生箇所は、主にこのヒーターおよびヒーターに密着した板材で間違いないものと断定して、発煙の原因を特定する調査を行うものとした。(図 4～10)の発煙箇所を詳細に観察し検査した結果、少なくとも以下の2種の様子を呈する焼け・焦げ跡が見られ、これら一方ないし両方の原因により、機体からの発煙があったことが明らであった。

- A. 局所的な焼け跡
- B. 広範囲における、焦げ・焼け



(図 11)A. 局所的な焼け跡



(図 12)B. 広範囲における、焦げ・焼け

上記 A については、約 43% (6/14)のヒーター・板材に見られた。  
上記 B については、約 79% (11/14)のヒーター・板材に見られた。



また、上記 A ないし B によって、ヒーターの熱線分が露出し、鉄板に接触し、鉄板に電源電圧である 220V(AC)が漏電していたと推測される損傷が見られた(図 13)



(図 13)ヒーター焦げ部:青○部は被覆が破れ熱線が露出。ヒート面の鉄板と接触し漏電していたことが推測される

このような漏電の可能性のある損傷が見られたヒーターは、全体の約 57%(8/14)であった。さらに、機種あたりでは、全台数の 71%(5/7 台)に漏電の可能性が見られた。

上記 A、B の発生、ないし漏電疑いの状況を、以下の表1にてまとめる。

(表1)各ヒートプレスマシンの損傷状況一覧

バランガイ	機体 番号	上面/ 下面	局所的な焼け (スパーク放電)	広範囲の焦げ・焼け (低温焦げ・焼け)	漏電の可能性
Cogon	1	上面	なし	✓	なし
		下面	なし	✓	なし
	2	上面	なし	✓	✓
		下面	✓	✓	✓
	3	上面	なし	✓	なし
		下面	✓	✓	✓
Poblacion II	1	上面	なし	△	なし
		下面	なし	✓	✓
	2	上面	✓	△	なし
		下面	✓	△	✓
Dampas	1	上面	✓	なし	✓
		下面	なし	✓	△
	2	上面	なし	なし	なし
		下面	✓	なし	✓

全てのヒートプレスマシンにおいて何らかの損傷が認められ、いつ感電や火災などの事故があってもおかしくないような状況であったと言える。

本調査報告書では、次章の「3.発生原因」にて、なぜこのような「A. 局所的な焼け跡」および「B. 広範囲における、焦げ・焼け」またそれにもなう漏電の可能性が発生したか、その原因を明らかにする。またその他、上記「A. 局所的な焼け跡」および「B. 広範囲における、焦げ・焼け」の直接の原因ではないが、今回の発煙それ自体の直接的・間接的な原因となったと考えられる、その他の要因・要素について、「4.その他危険要素」において報告する。

その上で、「5. 今後求められる対策」において、このような問題を発生させないために考えられる対策について提案し、「6.まとめ」にて総括を報告するものとする。

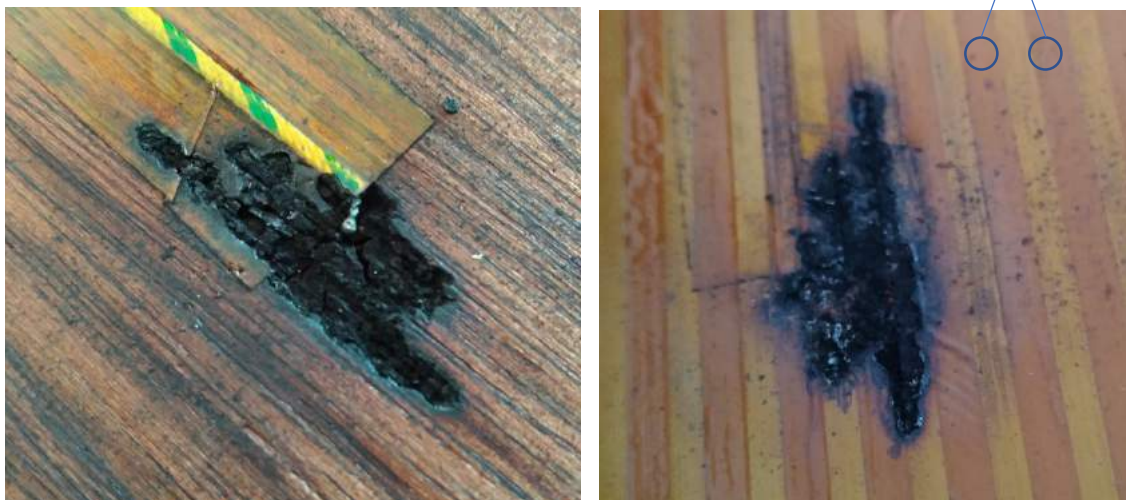
### 3. 発生原因

#### 3-1. A(局所的な焼け跡)の発生原因

##### 3-1-1. 発生原理(メカニズム)

A(局所的な焼け跡)に関しては、図 14 の写真からも明らかのように、ごく狭い範囲に深い焦げ跡が残っていることから、周囲の広い範囲に熱伝搬しない/できないような、ごく短時間において、局所的に非常に高い温度が発生したものと考えられる。このような短時間かつ高温の発熱として最も疑われるのは、スパーク等の放電である。

熱線(=電極)の空間距離は常に 4mm 以上開いている



(図 14) Poblacion II 設置 2 号機上面のヒーターおよびヒーターに密着した板材にそれぞれ残ったスパークの跡

スパーク等の放電は、電位差のある電極同士が気体を介して近距離に存在することで発生する。現行ヒートプレスマシンの内部環境でそのような状況が発生するのは、ポリイミドヒーターの被覆が傷ついて穴が開き、ポリイミドヒーター内の熱線(AC-220V)と、ポリイミドヒーターと密着する鉄板(グラウンド)との間に絶縁体がなくなった上での短絡であろうことは容易に特定されよう。

なお、現行ヒートプレスマシンのポリイミドヒーターでは、熱線(=電極)の空間距離は常に 4mm 以上開いた設計となっている(図 14)。これは国際安全規格の「IEC 60950 Table 2H」に定められた強化絶縁距離(=4mm)に相当するため、ヒーターの極間における放電はほぼ発生しないと考えられる。<sup>2</sup> なお、木材の引火温度(口火がある場合)は 240℃～280℃以上とされており、また発火のためには温度にもよるがおよそ 10 数秒以上の連続した加熱が必要であるとされている<sup>3</sup>。この図 14 およ

<sup>2</sup> IEC 60950 Table 2H に基づく最小空間距離の規定の例 <http://t-sato.in.coocan.jp/terms/iec950-table2h.html>

<sup>3</sup> 原田寿郎, 木材の燃焼性および耐火性能に関する研究, 森林総研研報, pp1-81,  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/378-1.pdf>



びその他の“局所的な焼け跡”においても、引火が起こった形跡はないため、長期的な短絡ではなく、瞬間的ないしごく短時間のスパーク等の放電であったと推測され、よって、火災を招く大きな危険を伴うものではなかったと考えられよう。

このような放電現象が発生した原因として考えられる問題は、より具体的には以下の 3-1-1 から 3-1-3 の、3 点であったと考えられる(複数が同時に原因となったことも考えられる)。

どれも組立時の取扱い・作業が、非常に粗く、雑であったことより起こった、組立不良に起因するものであると推測される。

### 3-1-1. 具体的な発生原因-1: センサの取り付け方法に起因する被覆の破れ

これを裏付けるのが図 15 ないし図 16 の写真である。

図 15 の写真は、熱電対温度センサの先端部であるが、温度センシングを精緻にするために、センサ格納のために板材に掘られた溝から温度センサ先端部のみを外に露出させて鉄板と密着させるアセンブリとなっている。これによりセンサ先端部がヒーターの熱線の上にまではみ出し、この状態で鉄板と合板が密着して圧力がかかったことで、ヒーターの熱線の上の被覆に傷がついてしまい、結果としてスパークを起こしてしまったことが容易に推測できる。

また図 16 の写真は熱電対温度センサ周りの中伏部である。図 16 に見られるスパーク跡は、図 17 の写真のようにタッカー(建築用ホチキス)を用いて、温度センサが固定されていた箇所に見られた(図 17 は損傷が少なかった他機体の板材)。ホチキスの針が露出した状態のまま、鉄板と合板が密着して圧力がかかっていたことにより、熱線の上の被覆に傷をつけることとなり、結果スパークを起こしてしまったことが容易に推測できる。



(図 15) センサで傷ついて発生した  
スパークの跡



(図 16) 建築用ホチキスで傷ついて発生したスパークの跡  
(左:ヒーター側、右:板材側)



(図 17) タッカー(建築用ホチキス)での乱暴な取り付けによる熱電対温度センサ

### 3-1-2. 具体的な発生原因 2:組み立ての雑さに起因する傷の発生による被覆の破れ

図 18 では、上記と同じく放電による焼けであることはほぼ間違いがないが、焼け跡の位置から考えて、熱電対温度センサやタッカー（建築用ホチキス）によってつけられた傷ではありえない。しかし、ポリイミドヒーターの被覆が傷ついて穴が開いたことで発生したもので間違いはない。ヒーター側のスパーク部（図 18 の右側）をよく観察すると、引っかき傷のようなものの跡が見えることから、これは、アセンブリ時の粗雑な扱いで傷がついたか、アセンブリ時にゴミ等が混入し、その上でプレス圧がかかったなどで皮膜が破れ、放電に繋がったことが想定される。



(図 18)アセンブリ時の粗雑な扱いで傷がついたことで発生したと思われるスパーク跡(左:板材側 右:ヒーター側)

### 3-1-3. 具体的な発生原因 3:部品製作の雑さに起因するバリの発生による被覆の破れ

さらに、図 19 の写真では、放電は起こってはいないが、ヒーターに局所的な発熱を想起させる焦げが見られた。このまま稼働が続けられれば焦げから起こる被覆の穴が発生し、ここから放電が起こっていたであろうことが容易に想像出来る。この箇所ではこのヒーターの焦げ部と密着している箇所木材に、切削加工時に発生したと思われるバリがあった(図 19)。このバリがヒーターに過度で局所的な圧力を発生させ、熱線の断面積を多少なりとも変化させるなどして熱だまりを発生させるなどしてヒーターに偏った熱負荷を生じさせていたことが考えられる。



(図 19)組立時に発生したバリと、バリにより引き起こされたヒーターの焦げ

### 3-2. B(広範囲における、焦げ・焼け)の発生原因

#### 3-2-1. 発生原理(メカニズム)

B(広範囲における、焦げ、焼け)に関しては、図 10 および図 11 において明らかなように、広い範囲におおよそ均一な焦げ跡が残っていることから、ヒーター全体が高温となっていたものと考えられる。

このため、以下の B-1～B-7B の 8 つのような異常動作により、ヒーターが設定温度以上となっていたことが疑われた。



(図 20) 広い範囲のおおよそ均一な焦げ跡

B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走

B-2. サーモスタット(温度コントローラー)が故障したことによる熱暴走

B-3. SSR(ソリッド・ステート・リレー)が故障したことによる熱暴走

B-4. タッカー(建築用ホチキス)の使用に起因する異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力

B-5. プレス圧力による熱電対温度センサの異常値の出力

B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力

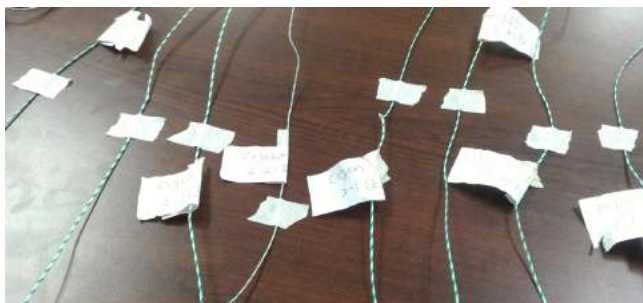
B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかった

B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサが異常値を出力

以下より、上記 B-1～B-7B に対する検証実験の内容とその結果について説明・報告する。

#### B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走についての検証実験

Cogon(3台)、Poblacion II(2台)、Dampas(2台)のヒートプレスマシンより、上下面のヒーター制御用にそれぞれ2本設置されている熱電対温度センサを全て回収し、熱電対温度センサの故障があるかどうか、全数において動作確認を行った(図 21)。



(図 21) 現行ヒートプレスマシンより回収された熱電対温度センサ群

実験の概要は、回収した14本の熱電対温度センサを、現行ヒートプレスマシンに用いられているも



のと同機種のサーモスタット(RKC 社製の REX-C900)の新品と接続し、以下の 4 ポイントの温度を測定することで、これら温度が正確に測定できているかの実験を行ったというものである。

- ・ 27℃(室温)
- ・ 50℃の鉄板
- ・ 100℃の鉄板
- ・ 150℃の鉄板

実験環境として、50℃、100℃、150℃の鉄板は、TIFAL 社製の調理用ホットプレートを、上記と同じ新品のサーモスタットおよび新品の熱電対温度センサを用いて制御することで構成した(図 22)。



(図 22) 実験環境の構成

なお、上記の 4 ポイントの各温度が正確に測れているかの基準として、以下の 4 つの基準機により同時測定を行うことで、正確性を担保した。

- ・ A&D 社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による鉄板表面の非接触測定
- ・ BENETECH 社製の赤外線温度センサ GM300 による鉄板表面の非接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同製品かつ新品のサーモスタットおよび熱電対温度センサ(以下、表 2 中のベースラインの A: 現行ヒートプレスマシンと同設定)による鉄板表面の温度の接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同品質のコンパチブル品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表 2 中のベースラインの B: 現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による鉄板表面の温度の接触測定

以下の表 2 が上記「**B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走**」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表 2)「B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果

			27℃ (室温)	50℃	100℃	150℃
赤外線温度 センサ	A&D 社	A&D-5617	-	50	100	150
	BENETE CH 社	GM300	26-27 (中央値: 26.5)	50-52 (中央値: 51)	99-100 (中央値: 99.5)	154
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	25-26 (中央値: 25.5)	49-53 (中央値: 51)	99-106 (中央値: 102.5)	150-153 (中央値: 151.5)
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	24-27 (中央値: 25.5)	49-51 (中央値: 50)	100-104 (中央値: 102)	153-155 (中央値: 154)
Cogon	1	上面	25	50	100	150
		下面	25	51	105	150
	2	上面	23	52	104	151
		下面	24	51	101	150
	3	上面	25	52	103	150
		下面	24	52	103	150
Poblacion II	1	上面	24	49	101	151
		下面	23	49	104	150
	2	上面	23	50	103	150
		下面	25	49	101	150
Dampas	1	上面	24	50	102	150
		下面	25	50	102	151
	2	上面	24	50	100	150
		下面	23	51	101	151

上記の表 2 から明らかなように、バランガイに設置された熱電対温度センサは全数において、4 ポイント全てにおいて正確な数字を出力し、問題なく動作しており、一切の故障等は見られなかった。  
このことより、熱電対温度センサに起因した熱暴走があったことは非常に考えにくい。

これら熱電対温度センサが、実際のアセンブリではタッカー（建築用ホチキス）により乱暴に取り付けられ、また途中で絡まるなど手荒な扱いを受け、かつ実使用中には 0.7MPa の加重を、繰り返しかつ長時間受けていたことを考えれば、現行ヒートプレスマシンに用いられているものは、非常に信頼性の高い熱電対温度センサであると言える。

#### B-2. サーモスタットが故障したことによる熱暴走についての検証実験

Cogon (3 台)、Poblacion II (2 台)、Dampas (2 台) のヒートプレスマシンより、それぞれ上下面のヒーター制御用に 2 台設置されているサーモスタットを全て回収し、サーモスタットの故障があるかどうか、全数において動作確認を行った。

実験の概要は、回収してきた 14 台のサーモスタットを、現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同製品かつ新品の熱電対温度センサに繋ぎ、以下の 3 ポイントの温度を測定し、これら温度が

正確に測定できているかの実験を行ったというものである。

- ・ 室温
- ・ 10℃の冷水(降温)
- ・ 30℃の人差し指の表面温度(昇温)

なお、本実験中は、サーモスタットのアラームの設定温度を 30℃に設定することで、上記の「30℃の人差し指の表面温度(昇温)」の測定時に、正確にアラームが表示されるか(現行ヒートプレスマシンにはスピーカーは接続されていないため、アラームとはインジケーターが点滅表示されるのみで、警報音等は発しない)の確認を行った。

なお、上記の 3 ポイントの各温度が正確に測れているかの基準として以下の 4 つの基準機により同時測定を行うことで、正確性を担保した(図 23)。

- ・ A&D 社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による各温度の非接触測定
- ・ BENETECH 社製の赤外線温度センサ GM300 による各温度の非接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットおよび熱電対温度センサ(以下、表 3 中のベースラインの A:現行ヒートプレスマシンと同設定)による各温度の接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同等品質のコンパチブル品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表 3 中のベースラインの B:現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による各温度の接触測定



(図 23) 実験環境の構成

以下の表 3 が上記「B-2. サーモスタットが故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果である。



(表 3)「B-2. サーモスタットが故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果

			23℃(室温)	10℃(10℃の冷水)	30℃(人差し指の表面) +アラーム動作確認
赤外線温度 センサ	A&D 社	A&D-5617	25	10	31
	BENETECH 社	GM300	24	10	30
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	23-24 (中央値: 23.5)	10	30 +アラーム動作 OK
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	21-22 (中央値: 21.5)	10	30 +アラーム動作 OK
Cogon	1	上面	25	11	30 +アラーム動作 OK
		下面	25	11	31 +アラーム動作 OK
	2	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	23	10	30 +アラーム動作 OK
	3	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	24	10	30 +アラーム動作 OK
Poblacion II	1	上面	23	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	23	10	30 +アラーム動作 OK
	2	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	22	10	30 +アラーム動作 OK
Dampas	1	上面	23	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	23	10	30 +アラーム動作 OK
	2	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	24	10	30 +アラーム動作 OK

上記の表 3 からも明らかなように、バラングイに設置されたヒートプレスマシンに使用されていたサーモスタット全数は、3 ポイントの測定の全てにおいて正確な数字を出力し、問題なく動作しており、一切の故障等は見られなかった。このことより、サーモスタットに起因した熱暴走があったことは非常に考えにくい。

これら熱電対温度センサが、実際の使用環境では海辺の窓が壊れた部屋(図 24)などに無造作に設置されており(図 25)、かつメンテナンスを受けないなどの手荒な扱いを受け、かつ実使用中にスパイクノイズなども頻発するフィリピンのルーラルエリアの電源環境で長時間使われていたことを考えれば、現行品に用いられているものは、非常に信頼性の高いサーモスタットであると言える。



(図 24) Poblacion II における実際の使用環境 1

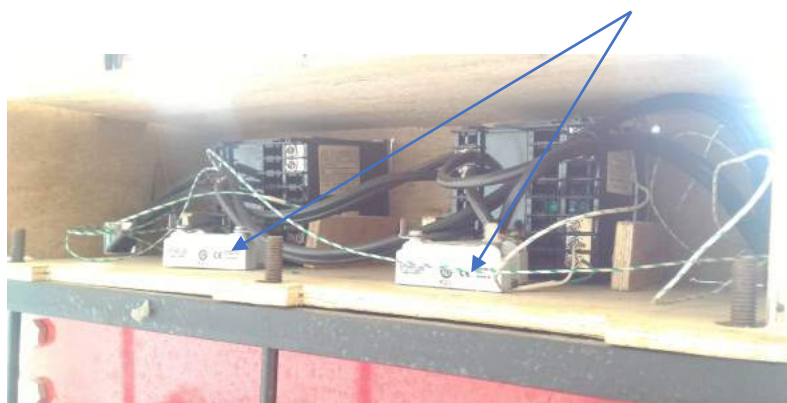


(図 25) Poblacion II における実際の使用環境 2

### B-3. SSR が故障したことによる熱暴走についての検証実験

Cogon(3 台)、Poblacion II(2 台)、Dampas(2 台)のヒートプレスマシンより、それぞれ上下面のヒーター制御用に設置されている SSR(図 26)を全て回収し、故障があるかどうか、全数において動作確認を行った。

SSR(サーモスタットの裏側に設置)



(図 26) 現行ヒートプレスマシンに設置されている SSR

実験は、SSR の動作を検査するために、以下の 2 つのパラメータを得るテストを行うものとした。

- (1) SSR が起動するかどうか(電圧印加時に SSR 自体がオンになること)
- (2) 出力(OutPut)が正常に機能しているかどうか(電圧印加時に、load/light/appliance がオンになること)

上記(1)および(2)について確認を行うために、より具体的には、以下の手順にて実験を行った。

### (1) SSR が起動する(電圧印加時に SSR 自体がオンになる)ことの確認手順

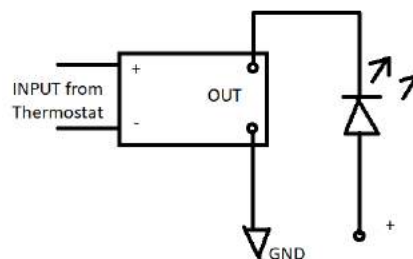
SSR は定格電圧の入力時には、正常動作を示す緑色のインジゲーターが点灯するはずなので、インプット端子に定格電圧の DC12V を印加して、インジゲーターの点灯を確認した(図 27)。



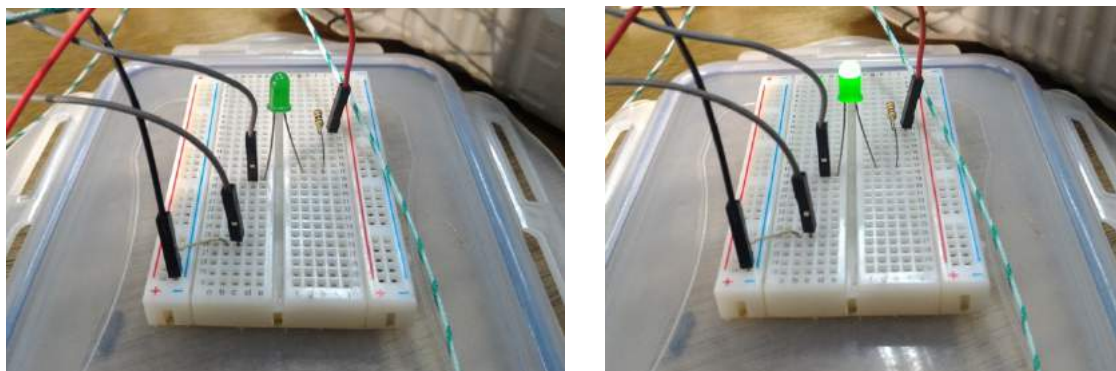
(図 27) SSR の起動実験の様子

### (2) 出力(OutPut)が正常に機能している(電圧印加時に、load/light/appliance がオンになる)ことの確認手順

SSR の出力に以下の回路(図 28)のアウトプット側に、load/light/appliance に接続される負荷として LED を接続し、サーモスタット側(入力側)から SSR のオン信号が入力された場合に、この LED が点灯するかどうか確認した(図 29)



(図 28) SSR の出力機能の検証のための実験回路図



(図 29) SSR の出力機能の検証のための実験の様子

以下の表 4 が、上記「B-3. SSR が故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果である。



(表 4)「B-3. SSR が故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果

バランガイ	機体番号	上面/下面	実験(1) 起動テスト	実験(2) 出力テスト
Cogon	1	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	2	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	3	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
Poblacion II	1	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	2	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
Dampas	1	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	2	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)

上記の表 3 から明らかなように、バランガイに設置されたヒートプレスマシンに内蔵された SSR は全数において、問題なく動作しており、一切の故障等は見られなかった。このことより、SSR に起因した熱暴走があったことは非常に考えにくい。

これら SSR が、実際の使用環境ではサーモスタットと同様に無造作に設置されて手荒な扱いを受け、かつ実使用中にもスパイクノイズなども頻発するフィリピンのルーラルエリアの電源環境で長時間使われていたことを考えれば、現行ヒートプレスマシンに用いられている SSR は、非常に信頼性の高いものであると言えるだろう。

#### B-4. タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力についての検証実験

Cogon(3 台)、Poblacion II (2 台)、Dampas(2 台)のヒートプレスより回収した 14 本の熱電対温度センサにおける、現行のヒートプレスマシンへのアセンブリに関して、複数台において見られた**タッカー(建築用ホチキス)**を用いた木材への乱暴な固定(図 17:再掲)が焦げや焼けに影響を及ぼしたかどうかの検証を行った。

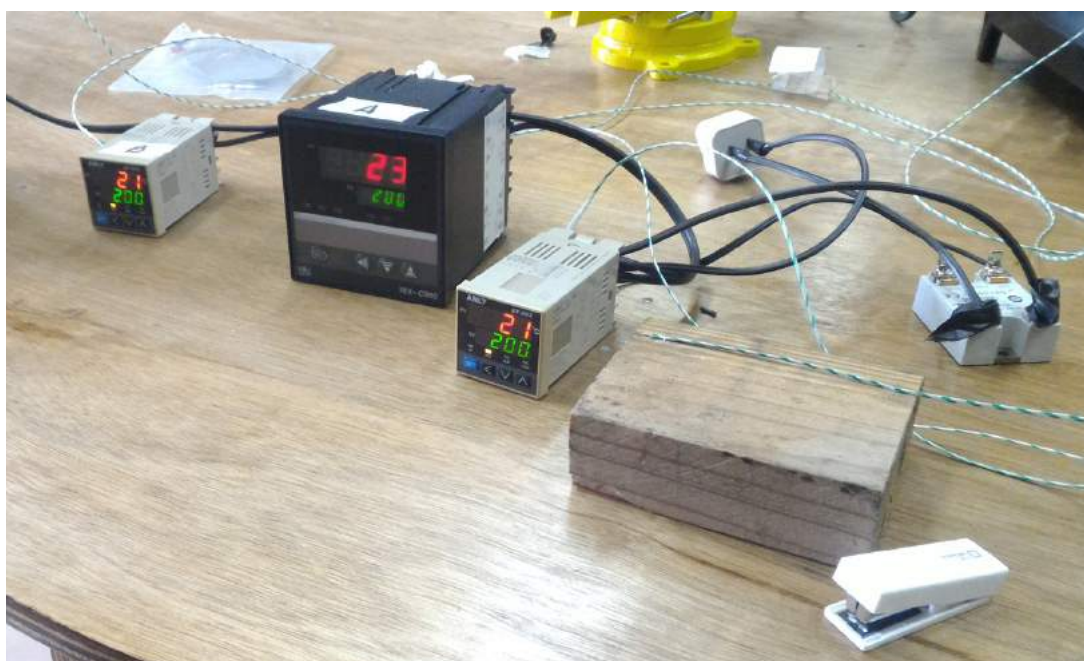


(図 17)タッカー(建築用ホチキス)での乱暴な取り付けによる熱電対温度センサ(再掲)

実験の概要: 回収してきた14本の熱電対温度センサを、現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットに接続し、以下の異なる3条件下で熱電対温度センサの温度をそれぞれ測定(対象は室温)し、これら温度が正確に測定できているかの実験を行った。

- ・ ホチキス止め(圧力)なし
- ・ 木材へのホチキス止め(圧力) x 1箇所
- ・ 木材へのホチキス止め(圧力) x 2箇所

なお、本実験に用いたホチキスは文房具用のものであるため、タッカー(建築用ホチキス)よりも加えられる圧力、また針のサイズともに小さく、簡易実験として考えられたい(図30)。



(図30) 実験環境の構成

なお、上記の3条件下の各温度が正確に測れているかの基準として、以下の4つの基準機による同時測定を行うことで、正確性を担保した。

- ・ A&D社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による鉄板表面の非接触測定
- ・ BENETECH社製の赤外線温度センサ GM300 による鉄板表面の非接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表5中のベースラインのA: 現行ヒートプレスマシンと同設定)による鉄板表面の温度の接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同等品質のコンパチブル品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表5中のベースラインのB: 現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による鉄板表面の温度の接触測定

以下の表 5 が上記「B-4. タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表 5)「B-4. タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力」  
の可能性の検証にかかる実験の結果

			ホチキス止め 圧力なし(=室温)	ホチキス止め 圧力 x 1箇所	ホチキス止め 圧力 x 2箇所
赤外線温度センサ	A&D 社	A&D-5617	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)
	BENETECH 社	GM300	22-23 (中央値: 22.5)	22-23 (中央値: 22.5)	22-23 (中央値: 22.5)
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	22-24 (中央値: 23)	22-24 (中央値: 23)	22-24 (中央値: 23)
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)
Cogon	1	上面	22	22	22
		下面	22	22	22
	2	上面	22	22	22
		下面	22	22	22
	3	上面	22	22	22
		下面	23	22	22
Poblacion II	1	上面	22	22	22
		下面	22	22	22
	2	上面	21	22	22
		下面	21	21	21
Dampas	1	上面	21	21	21
		下面	21	21	21
	2	上面	22	21	21
		下面	21	21	21

上記の表 5 から明らかなように、熱電対温度センサはホチキスの圧力の有無に関わらず、どちらの条件下でも全く同様の正確な数字を出力し、ホチキスの異常圧力下でも問題なく動作していることがわかる。従って、タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力があったことは非常に考えにくい。

このような粗雑な扱いにも関わらず正確なパラメータを出力し、問題なく動作していることを鑑みれば、本熱電対温度センサは非常に信頼性の高い熱電対温度センサであると言えよう。

#### B-5. プレス圧力によって熱電対温度センサの異常値の出力についての検証実験

Cogon(3台)、Poblacion II(2台)、Dampas(2台)のヒートプレスマシンより回収した14本の熱電対温度センサにおける、現行ヒートプレスマシンへのアセンブリに関して、複数台にて見られた、以下



のケースにおいて、プレスによる圧力が温度センシングに影響したかどうかの検証を行った。

- ・ 熱電対の格納溝が、熱電対温度センサの直径より浅く掘られていることによって、熱電対温度センサにプレス圧がかかってしまっているケース(図 31)
- ・ 温度センシングを精緻にするために、センサ格納のために板材に掘られた溝から温度センサ先端部を外に露出させて鉄板と密着させるアセンブリとなっており、センサ先端部がヒーターの熱線の上にまではみ出してしまったことで、この状態で鉄板と合板が密着して圧力がかかってしまっているケース(図 32)



(図 31) 熱電対温度センサの全体にプレス圧がかかって扁平型となっている



(図 32) センサ先端部がヒーターの熱線の上にまではみ出している状態で鉄板と合板が密着して圧力がかかってしまっている

実験の概要: 回収してきた14本の熱電対温度センサを、現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットに接続し、以下の異なる3条件下で熱電対温度センサのそれぞれ温度を測定(対象は室温)し、これらの温度が正確に測定できているかの実験を行った。

- ・ 圧力なしの状態
- ・ 万力で腹部へ圧力をかけた状態
- ・ 万力で先端部へ圧力をかけた状態

なお、本実験では、圧力をかけるためのツールとして万力を用いることとした。万力による圧力は、現行ヒートプレスマシンで用いられる油圧プレスによる圧力よりも比較的小さくなるため、簡易実験として考えられた(図 33)。



(図 33) 実験環境の構成

なお、上記の3条件下の各温度が正確に測れているかの基準として、以下の4つの基準機による同時測定を行うことで、正確性を担保した。

- ・ A&D 社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による鉄板表面の非接触測定
- ・ BENETECH 社製の赤外線温度センサ GM300 による鉄板表面の非接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表6中のベースラインのA:現行ヒートプレスマシンと同設定)による鉄板表面の温度の接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同等品質のコンパクト品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表6中のベースラインのB:現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による鉄板表面の温度の接触測定

以下の表6が上記「プレス圧力によって熱電対温度センサの異常値の出力」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表6)「B-5. プレス圧力によって熱電対温度センサの異常値の出力」の可能性の検証にかかる実験の結果

			圧力なし (鉄の温度=室温)	万力による 腹部へ圧力	万力による 先端部へ圧力
赤外線温度センサ	A&D 社	A&D-5617	25-26 (中央値: 25.5)	25-26 (中央値: 25.5)	25-26 (中央値: 25.5)
	BENETECH 社	GM300	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	25-27 (中央値: 26)	25-27 (中央値: 26)	25-27 (中央値: 26)
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)
Cogon	1	上面	25	25	25
		下面	25	25	25
	2	上面	26	26	25
		下面	25	25	25
	3	上面	25	25	25
		下面	25	25	25
Poblacion II	1	上面	25	25	25
		下面	25	25	25
	2	上面	25	25	25
		下面	24	25	25
Dampas	1	上面	25	25	26
		下面	25	26	26
	2	上面	25	25	26
		下面	25	26	26

上記の表 6 から明らかなように、熱電対温度センサはプレス機の圧力がある/なしのどちらの条件下でも、また、圧力のかかる箇所にも関わらず、全く同様の正確な数字を出力しており、プレス機の異常圧力下でも問題なく動作していることがわかる。このことより、プレス機の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力があったことは非常に考えにくい。

このような粗雑な扱いにも関わらず正確なパラメータを出力し、問題なく動作することを鑑みれば、本熱電対温度センサは非常に信頼性の高い熱電対温度センサであると言える。

#### B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力した可能性の検証実験

Cogon (3 台)、Poblacion II (2 台)、Dampas (2 台) のヒートプレスマシンより回収した 14 本の熱電対温度センサにおける現行ヒートプレスマシンへのアセンブリに関して、複数台において見られた、熱電対温度センサがカプトンテープによって隠れてしまっており、直接ヒーターないし鉄板に接していないアセンブリ(図 34)の影響により、熱電対温度センサが異常値を出力した可能性がなかったかの検証を行った。



(図 34)熱電対温度センサがカプトンテープによって隠れてしまっており、  
直接ヒーターないし鉄板に接していないアセンブリ

また上記の検証実験と同時に、現行ヒートプレスマシンに共通した、“本来は鉄板温度を測らなければならないところ、略式として鉄板に密着して接着したポリイミドヒーターの表面を測定することで、これに替える”という基本設計によるアセンブリに対して、ポリイミドヒーターの断熱性により正確に温度が測れていない可能性の検証も同時に行った。

実験の概要：現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同機種熱電対温度センサの新品 3 本を用い、以下の異なる 3 条件下で、

- ・ 鉄板に熱電対センサを直接接触させて温度を測定したもの
- ・ 鉄板にカプトンテープを接着させた上で、同テープの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したもの
- ・ 鉄板にポリイミドヒーター(現行品と同じもの)を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したもの



それぞれ以下の 5 ポイントにて温度を測定したというものである。

- 75℃
- 100℃
- 125℃
- 150℃
- 175℃

実験環境としての鉄板は、TIFAL 社製の調理用ホットプレートを新品のサーモスタット、および新品の熱電対温度センサを用いて制御することにより構成した。

なお、本実験において、鉄板に熱電対センサを直接接触させて温度を測定したもの、および鉄板にカプトンテープを接着させた上で、同テープの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものの 2 つの条件下の実験では、現行のヒートプレスマシンに用いられるサーモスタットと同機種のものを用いた。また鉄板にポリイミドヒーター（現行品と同じもの）を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものの条件下の実験では、同等他者製品を用いた。従って、上記 3 条件は厳密には同条件での比較ではない。このため、本実験は簡易実験として考えられたい(図 35)。



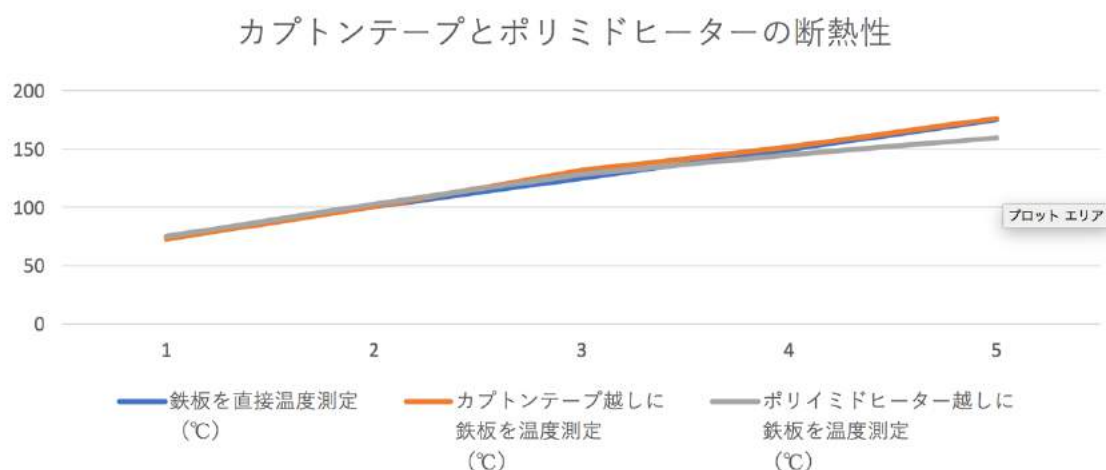
(図 35) 実験環境(左:ポリイミドヒーター越しに測定、中:鉄板を直接測定、右:カプトンテープ越しに測定)

以下の表 7 および表 8 が上記「カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表7)「B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力」  
の可能性の検証にかかる実験の結果-1

設定温度	鉄板を直接温度測定	カプトンテープ越しに 鉄板を温度測定	ポリイミドヒーター越しに 鉄板を温度測定
75℃	75	73	75
100℃	100	101	103
125℃	125	132	128
150℃	150	152	145
175℃	175	176	160

(表8)「B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力」  
の可能性の検証にかかる実験の結果-2



上記の表7および表8からも明らかなように、鉄板にカプトンテープを接着させた上で、同テープの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものと、鉄板にポリイミドヒーター（現行品と同じもの）を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものは、鉄板に熱電対センサを直接接触させて温度を測定したものとほぼ同じ温度を出力している。150℃以上の高温度域において、鉄板にポリイミドヒーター（現行品と同じもの）を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものが10℃程度低い温度を出力しているが、基本的にはリニアに温度上昇をしており、熱暴走の原因となるほどの温度だとは言いがたい。このことより、カプトンテープなしポリイミドヒーターが断熱材となり、熱電対温度センサが異常値を出力することに起因した、熱暴走があったことは非常に考えにくい。

B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことにより異常値を出力する可能性に関する検証実験、および

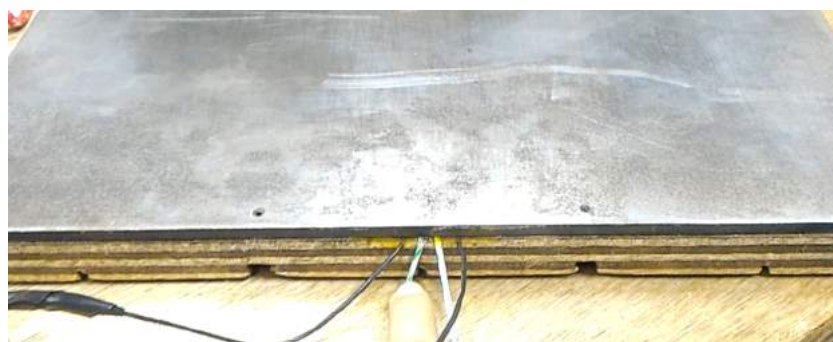
B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性に関する検証実験

Cogon(3台)、Poblacion II(2台)、Dampas(2台)のヒートプレスマシンでは、ヒーター制御用に設置されている熱電対温度センサのアセンブリは、前述 B-5 等で説明したように、温度センシングを精緻にするためにセンサ格納のために板材に掘られた溝から温度センサ先端部を外に露出させて鉄板と密着させるタイプ A(下表9および10のA:センサ先端部を溝外に出してのセンシング)と、温度センサ先端部もセンサ格納のために板材に掘られた溝内に格納されているタイプ B(下表9および10のB:センサ先端部を溝内に格納してのセンシング)の2通りがある。前述の B-5 の検証実験で明らかになったように、熱電対温度センサへの圧力は、異常値の出力に繋がらないようであるが、特に温度センサ先端部もセンサ格納のために板材に掘られた溝内に格納されているタイプ B のアセンブリでは、熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかった可能性が疑われる。従って、上記2タイプに差がないかについて、実験により検証を行った。

実験の概要: 現行ヒートプレスマシンと同様の各種パーツを用い、上記タイプ A および B のアセンブリを行った上で、実際に昇温を行い、タイプ A および B の温度を以下の7ポイントにて測定した。

- ・ 25°C(室温)
- ・ 40°C
- ・ 60°C
- ・ 80°C
- ・ 100°C
- ・ 120°C
- ・ 140°C

なお、熱電対温度センサを格納するために板材に掘られた溝は、1本しか温度センサを設置することができないサイズのため、実験時の鉄板温度を制御するためのサーモスタットに接続される熱電対温度センサは、放熱の激しい鉄板端部にテーピングにより固定して行った(図36)。このため、実験時における基準値ともなった制御温度は、検証の対象となるタイプ A およびタイプ B のセンサが設置されている鉄板中央部よりもかなり温度が低かったはずであることに注意されたい。



(図36) 実験環境の構成



実験のための温度制御に用いる、サーモスタット、熱電対温度センサ、ポリイミドヒーターについては、現行のヒートプレスマシンと同製品かつ新品のものを用いた。

なお、蒸気の発生により熱電対温度センサが異常値を出力する可能性を同時に検証するために、上記 A、B ともに、以下の 2 通りにて昇温実験を行った。

- ・ 比較的乾燥が少なく蒸気の出やすい、未使用の板材 (A および B)
- ・ 比較的乾燥が進んでおり蒸気の出にくい、既に複数回使用された板材 (A' および B')

以下の表 9 および表 10 が上記「B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことにより異常値を出力する可能性」、および「B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性」に関する検証実験の結果である。

(表 9) 「B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことによる異常値を出力する可能性」、  
および「B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性」に関する検証実験結果  
(比較的乾燥が少なく蒸気の出やすい、未使用の板材パーツを用いた場合)

鉄板の端部の温度(°C) (=実験時の制御センサの温度)	25 (室温)	40	60	80	100	120	140
A: センサ先端部を溝外に出してのセンシング	28	54	82	111 (水蒸気・異臭発生)	143	175	168
B: センサ先端部を溝内に格納してのセンシング	31	51	81	106 (水蒸気・異臭発生)	127	161	165
温度差(=A'-B')	-3	3	1	5	16	14	3

(表 10) 「B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことによる異常値を出力する可能性」、  
および「B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性」に関する検証実験結果  
(比較的乾燥が進んでおり蒸気の出にくい、すでに複数回使用された板材パーツを用いた場合)

鉄板の端部の温度(°C) (=実験時の制御センサの温度)	25 (室温)	40	60	80	100	120	140
A': センサ先端部を溝外に出してのセンシング	25	52	78	110 (水滴が少量発生)	142	184 (異臭発生)	195 (発煙)
B': センサ先端部を溝内に格納してのセンシング	36	48	78	104 (水滴が少量発生)	135	164	186
温度差(=A'-B')	-1	4	0	5	16	14	3

上記の表 9 および表 10 から、100℃以下の低温領域ではタイプ A と B において有意差が認められず、基本的にはアセンブリの方法の違いが大きくセンシング温度の違いとなって現れることはなさそうであるとわかる。他方、100℃以上の高温領域にて、目視できる水蒸気ないし目視できない程度の蒸気が発生(板材の下部における水滴の発生により確認)した場合には、タイプ A と B の間で最大 20℃の温度差が発生している。また、未使用の板材を用いた場合は、水蒸気の量が多いことに起因してか、鉄板温度が上昇してもセンサ温度が下降する現象も見られた。これにより、タイプ B のアセンブリでは水分が熱電対温度センサ格納用として板材に掘られた溝内に溜まるなどして熱電対温度センサのクーラントの役割を果たしていた可能性が疑われる。これは水蒸気発生から一定時間経過して温度が更に昇温するタイミングで再び温度差が縮まることによっても確認できる。このような実験結果より、アセンブリの差異に起因して、全く温度が取れなくなったり、数十を超える大きな温度差が発生するなどはなく、よって顕著な熱暴走状態が発生することは考えにくいとは言え、アセンブリの差異に起因して、鉄板の実際の温度とセンサの温度の間に、最大で 20℃程度の温度差をもつことが判明したと言える。

#### B-1 から B-7A までの検証実験の結果からの、“B(広範囲における、焦げ、焼け)”の発生原理(メカニズム)の考察と特定

これら B-1 から B-7B までの全ての疑義において、それぞれ検証実験を行った結果、その全てにおいて極端な異常動作・異常値の出力は計測できないこと、また(B-7の検証実験においていくらかの外れ値は観測されたものの)、ほぼ正常動作・正常値の出力があることが確認された。

よって、本調査対象の現行ヒートプレスマシンにおいては、少なくとも設計ミスや部品の故障そのものによる制御不良・不能によって、全く温度が取れなくなったり、ヒーター全体が数 10℃を超えるほどの高温になることは、非常に考えにくいと結論づけることができよう。

これらより導き出されるのは、設計時には想定ないし検証されなかった「長時間」の利用における木材の焦げ・焼けの可能性である。木材において、口火がない場合の着火温度は 400℃～480℃であるとされている<sup>3</sup>。そのため、ヒートプレスマシンを利用(設定)温度である 140℃で利用していれば、着火が起こることはないはずである。しかし一方で、木材は 150℃以下から表面で炭化が始まり、150℃以上になれば低温着火の可能性が発生し<sup>4</sup>、着火温度よりはるかに低い 170℃であっても、88 時間の長時間の加熱を行えば発火に至ったという報告もある<sup>5</sup>。

ヒートプレスマシンに用いられる合板における低温着火の正確な最低温度は定かではない。しかし、鉄板の温度を 140℃にしようとヒーターを制御した場合、鉄板による放熱を差し引く前のヒーター自体の温度は 170℃程度以上であったことは、上記 B-7の実験結果などより十分に考えられ、この場合、鉄板の熱線直下部分の板材の表面温度も同じく 170℃程度以上であったことも十分に想定可能である。よって、制御部品そのものにも挙動にも問題がなく、温度制御自体は狙い通りに正確に行われていた上で、制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こった可能性があると考えることも不自然ではなく、今回の発煙の原因として十分に可能性があると考え得る。

<sup>4</sup> 原田寿郎, 木材の燃焼性および耐火性能に関する研究, 京都大学, pp1-109,  
[https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/160886/2/D\\_Harada\\_Toshiro.pdf](https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/160886/2/D_Harada_Toshiro.pdf)

<sup>5</sup> 木材の長期低温加熱による 出火危険性について <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-gijyutuka/shyohou2/23/23-02.pdf>

### 3-2-2. 具体的な発生原因1:熱源部に木材を利用した設計

制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こった可能性について、これを裏付けるのが下記の図 37～図 40 である。先ず、図 37 は、現行ヒートプレスマシンを構成するものと同種の合板で、何らの熱処理が加えられていない端材である。

- ・図 38 は図 37 の端材を 140℃のポリイミドヒーターで 10 分、および 30 分加熱したもの、
- ・図 39 は 160℃のポリイミドヒーターで 10 分、および 30 分間加熱したもの、
- ・図 40 は 180℃のポリイミドヒーターで 10 分、および 30 分間加熱したものである。



(図 37) 熱処理が加えられていないヒートプレスマシンに用いられたものと同種の木材



(図 38) 140 度で熱処理が加えられた木材 (左: 10 分、右: 30 分)



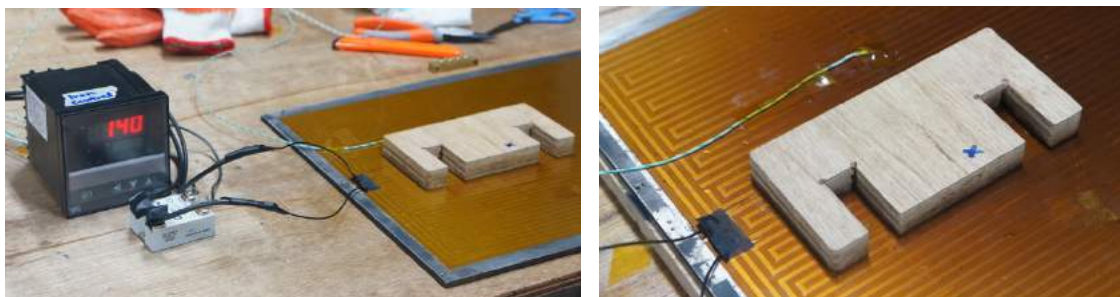
(図 39) 160 度で熱処理が加えられた木材 (左: 10 分、右: 30 分)



(図 40) 180 度で熱処理が加えられた木材 (左: 10 分、右: 30 分)



なお、実験環境は以下の図 25 のように、現行のヒートプレスマシンで行なわれているように鉄板の温度を測定するのではなく、ヒーター熱線部に直接温度センサを設置して、ヒーター表面温度＝木材の表面温度を直接測定している。



(図 41) 図 37～図 40 までを測定した実験環境

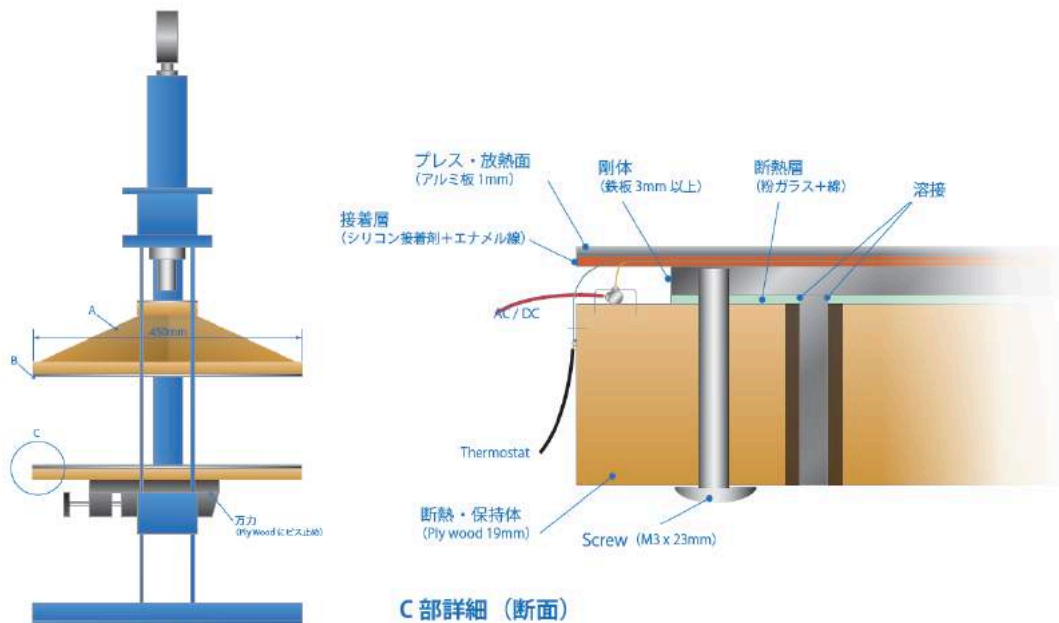
なお、図 24 における加熱中には、発煙および異臭が観測された。  
このことより、現行ヒートプレスマシンを構成する木材(合板)160 度～180 度で(例え木材の着火温度である 400℃以下の利用であっても)、表面の炭化や発煙が起こることが確認できた。

前項 3-2-1 で説明したように、現行ヒートプレスマシンにおいて、設定温度は 140℃であり、かつ正常に制御されている状態でもあっても、ヒーター表面温度が 170℃程度以上となることは十分に起こり得ること、また、図 24 の板材における焦げ・焼けの状態が最も損傷が大きかった Cogon のマシン群のそれと似かよった様相を呈していることより、**“3-2. B(広範囲における、焦げ・焼け)の発生原因”は、想定通りの制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こったことによるものと考えてよいものと言える。**

よって、これは**そもそもヒートプレスの熱源(ヒーター)の近接部に、断熱材等を介さずに木材を設置する設計そのものに問題がある**と考えられる。

なお、蛇足ではあるが、初期のプロトタイプ的设计案(徳島より 2014 年 8 月に作成・提案)では、以下の図 26 のように断熱材を配することでヒーターと木材の断熱が図られる設計案となっており、断熱・放熱に配慮されたものであった。よって、筆者の徳島および徳島の研究チームでは誰もが(本調査において機体を解体するまでは)、てっきり板材と鉄板の間には断熱材が配されているものとはばかり思い込んでおり、解体時によって、現行のヒートプレスでは、鉄板と板材が一切の断熱材を介さず直接密着していたことを見つけた際の驚きは大きなものであった。

量産設計時に何らかの理由(納期ないし予算が足らなかった、などの理由が推測される)で、断熱材が省かれてしまったことも、このような問題の発生につながる一因となったものと思われる。



(図 42) 木材と鉄板の間に断熱層を配し、直接鉄板と木材が接しない設計となっている、初期プロトタイプ的设计案  
(2016年8月22日付、徳島により作成)

さらに蛇足ではあるが、ボホール州近隣のセブ州では以下図 27 のような、建材用のグラスウール断熱材が購入できることが確認できており(2017年12月8日)、上図 26 のように粉ガラスによる手製の断熱材を加工せずとも、このような市販の断熱材を配することで、ヒーターと板材との断熱は適うはずである。また、現行のヒートプレスマシンの鉄板の加工元がセブ州であることを考えれば、例え政府調達の手続きの煩雑さを考慮に入れたとしても、このような断熱材を購入することは容易であったはずである。



(図 43) セブ州で購入できるものと同種のグラスウール断熱材

## 4.その他危険要素

### 4-2. 高圧部の結線等のとりまわし

今回調査を行った全台数のヒートプレスにおいて、その 220V の高圧部の取り回しは、非常にずさんかつ手荒なもので、危険を感じた。

特にその結線については全ての箇所において「二本の導線を“こより状”に捻って(箇所によってはその上から粘着テープを巻いて)固定したのみで、半田付け、ロウ付けはなし」というお粗末さであった(図 44)。



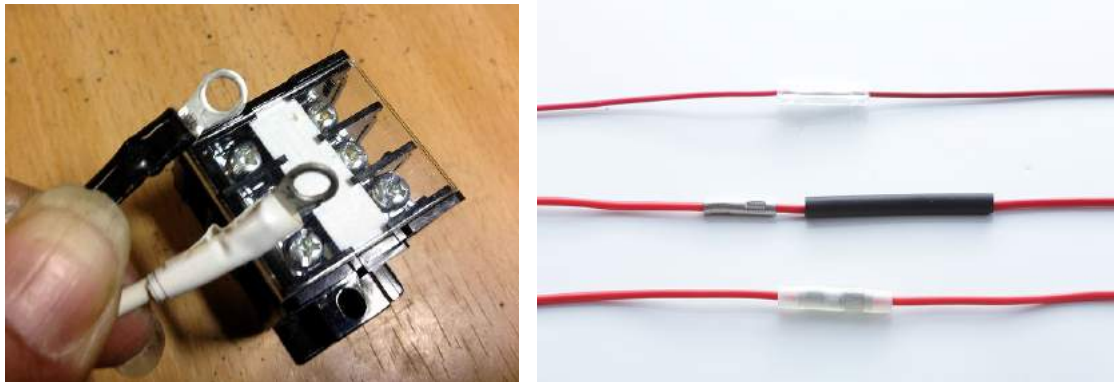
(図 44)ヒートプレスの220V 高圧部の結線の様子

このような手法による結線の固定は非常に弱く、何らかの要因でコードが引っ張られるなどがあれば、容易に 200V 高圧部が露出したまま断線状態になってしまう。また、もしこの状態で 220V 高圧部が鉄板に触れるなど起これば、漏電による事故が発生することはほぼ間違いない。実際に調査中において解体時に結線の両端を持って強く引っ張ったところ、簡単に捻りがほだけ「200V 高圧部が露出したまま断線状態」となった。

なお、参考として日本工業規格(JIS)においては、類似の接続方法を「ツイストジョイント」と呼びこれを規定しているが、このツイストジョイントでは”必ずろう付けをしなければならない”と明記されており、やはりこのような結線は推奨されていない。<sup>6</sup>

一般的な電気工事では、上記のような危険を避けるために、下図 45 のような圧着端子を使うことが一般的であり、このようなものを使うことで、例えある程度のビギナーによる施工であったとしても、確実に安全が確保されることとなる。今回のヒートプレスのアSEMBリでは、このような、高圧部の取り回しにおける基本中の基本が省かれてしまっていたことで、ユーザーに本来無用のリスクを負わせ設計・アSEMBリとなっていたことは、非常に遺憾であると言える。

<sup>6</sup>公益社団法人日本電気技術協会、電気技術解説講座、<https://www.jeea.or.jp/course/contents/04209/>



(図 45) 一般的な圧着端子による高圧部の結線

さらに、このような箇所によっては220Vの高圧が露出するようなくさんな結線であるにもかかわらず、機体の掃除等のメンテナンスは、全く行われていなく見受けられた。220V 高圧部にもホコリがたまっているなど(高圧部とホコリの間でスパークの発生などが懸念される)もあり、その面からも非常に危険な状況が看過されていた状況であったと言える。

#### 4-2. オペレーション面の危険要素

調査中のヒアリングでは、発煙は数度に及んで目撃されたということが明らかになっている。今回の発煙・発火等の異常の発生時は、本報告書の写真などで理解できるように、その発煙時には非常に強い焦げた臭い、またヒーターの熱溶解時には非常に強いケミカル臭が発生していたことは、ほぼ間違いがないものと推測できる。また、異常発生後の数日間は、この異臭が部屋に充満していたことが予想され、これがユーザーおよび運用者(現場監督)により気づかれなかったとはとても考えられない。

問題発生の根本的な原因は、前述のような設計不良・組立不良であることは間違いがないが、異常発生の初期段階でオペレーションが停止され、適切なメンテナンス・修理がなされていれば、このように全マシンに重篤な故障が発生することはなかったであろうことが推測される。数度に渡る、明らかな異常を知らせる発煙や強い異臭の発生を把握しつつ、尚且つオペレーションを続行し、女性ユーザーの命を長期間に及び危険に晒すような状況を招いたことに対しては、設計者だけの責に帰すものではなく、管理者・現場の運用者(現場監督)にも重大な過失があったと考えるのが自然であろう。

またさらにオペレーション面では、本調査におけるヒアリングによって、DTI と菅野青年海外協力隊員により運営される、ボホール州タグビラン市で実施中のヒートプレスを用いたプロジェクトにおける、以下のような問題も明らかになった。

- 4-2-1. 管理者・運用者(現場監督)への安全講習がなく、管理者・運用者(現場監督)が安全知識を持っていないまま「なんとなく」の知識でヒートプレスの運用を行っていた。  
(ヒートプレスの耐熱温度をきっちり把握しないなど)



- 4-2-2. ユーザーへの安全講習がなく、ユーザーの女性は安全対策について全く知識がないままに、ヒートプレスの利用が行われていた。これにより一部の利用者は「ヒートプレスの耐熱温度が 400℃である」などの間違った理解(実際は 200℃強)をしており、これによりヒートプレスの破壊(熱融解・焦げ・炎上)につながる、異常温度上昇の見逃しがあった。
- 4-2-3. 現行のヒートプレスでは、メンテナンスのルールが何ら設定されておらず、またメンテナンスの担当者も設定されていなかった。この結果、利用開始から半年経過した時点で、ヒートプレスの機体は掃除さえもされた形跡がなく、機体はひどく損傷(ひどいサビに侵されて、オイルタンクのネジが緩んでオイルが漏れたまま床に垂れ流しになっており、220V の高圧部は埃まみれで、プレスはガタついており、鉄板のプレス面にはいずれの機体でもプラスチック片がこびりついているなど)していた。
- 4-2-4. 機材管理担当者・オペレーション担当者の制定が明確には行われていなかった。なお、DTI は現地の FabLab がこれを担当するべきだと発言しているが、現地の FabLab スタッフには自らがこのプロジェクトのパーマナントなメンテナンス担当者であるという意識く、実際にも大学に常勤雇用される大学職員である FabLab スタッフが、ルーティンワークを含むメンテナンス業務を担当するという建付にはかなりの無理があると言えよう。
- 4-2-5. 修繕費の積立方法の確立は全く行われておらず、本問題の発生によって初めて、修理費の捻出をどの組織が行うかなどを一から話し合うこととなった。
- 4-2-6. 緊急時の連絡先の設定がなく、問題を発見した女性は恐怖を感じてはいたものの、どこに連絡するべきか判然としないまま問題の発煙の発見から時間が経過したことで、調査の開始まで長らくの時間がかかったようである。
- 4-2-7. このプロジェクトでは、プロジェクトのオフィシャルローンチから半年程度が経過しているが、ヒートプレスを日常的に利用するメインのユーザーは女性 1 名(プラス、この女性の協力者数名)に過ぎず、ほぼ全ての生産作業が、この女性とが密室的に行われていたようである。このような密室的な作業では、問題発生時にもその問題が容易に隠蔽されやすい。今後多人数のユーザーを巻き込んだ広いプロジェクト展開が求められよう。

## 5. 今後求められる対策

### 5-1. 具体的対策案

ヒートプレスにおいて、当該マシン使用における発煙・発火などの事故を防止するためには、設計要素、アセンブリ、その他危険要素の排除を行うための、以下の5-1-1から5-1-11の安全対策が考え得る。

#### 5-1-1. 木材を使用しない設計とする。

熱源近傍に可燃物を配さないこと、また製品自体をなるべく不燃物・難燃物で構成することは、ヒーター等の熱源を備える製品を設計する際の、基本中の基本であると言える。

ボホール州タグビラン市に配置されている、貿易産業省(DTI)と高木元青年海外協力隊員により設計された現行品のヒートプレスでは、ヒーターの熱源に密着する形で木材のパーツが配されており、その他のパーツでも木材パーツが多用されていることから、そもそも安全性への配慮が成されたとは言い難い。

今後用いられるヒートプレスでは、そもそも可燃物となる木材パーツの利用は一切行わず、ヒーター近傍は不燃物である金属にて構成し、その他パーツも可能な限り不燃物・難燃物にて構成する設計とし、そもそも発煙・発火の原因となる可燃物を、特に熱源近傍から一切排除する設計とするべきである。

#### 5-1-2. ヒーターのワットエージ(電力)を下げ、そもそも危険な温度にまで昇温しない設計とする。

前項1のように可燃物となる木材パーツの利用を一切行わないことで、熱源近傍に可燃物がなくなり、発煙・発火の原因はほぼ排除されるが、より安全を期すために、そもそも発煙ないし発火の温度にまで昇温しないヒーターを設計ないし選定して、これを熱源として用いることで、さらに綿密に事故の防止を行い、安全性を確保するという手段も考え得る。

より具体的には、平面ヒーターの入出力のワットエージ(電力)を現在のものよりも大幅に下げた、小電力のヒーターを設計ないし選定して、これを熱源として用い、ヒーターが密着する鉄板による放熱による降温効果により、実駆動時に危険領域までへの昇温が不可能か非常に難しくし、これにより一切の発煙・発火を防止し、安全性を確保することができる。

#### 5-1-3. センサおよびヒーター等の精密機器にプレス加重をかける設計を行わない

前項1および2からさらに安全性を高めるため、発煙・発火を招くスパーク等の放電の防止を目的とした、ヒーターに傷を作らずヒーターの被覆を厳密に保護する設計を行うことで、さらに厳重な事故の防止を行い、安全性を確保することが可能となる。

現行品のヒートプレスでは、ヒーター面に直接プレス荷重の 0.7Mpa 程度が加圧される設計になっている。しかしながら、このような大きな繰り返し加重はヒーターおよびその被膜がダメージを与え、短期間で被覆の破れなどの疲労破壊を誘引するであろうことが容易に予想される。よってヒーターの被覆保護の面から、ヒーター面に高い圧力を加圧する設計は、そもそも適切ではないと言えることができる。

今後用いられるヒートプレスでは、加圧面となる鉄板にリブ等を配し、このリブ等を介して加圧を行う設計とすることで、ヒーターには直接プレスの圧力がかからぬようにして、ヒーターの被覆の保護を適え傷から守り、スパーク等の放電を防ぐことが肝要となる。

なお、このように、ヒーターに直接プレスの圧力がかからない設計とすることで、アSEMBリ中に発生してしまう多少のバリやゴミ等の異物がヒーター近傍に混入しても、ヒーターが損傷する心配が殆どなくなるために、本設計要件はアSEMBリ中のコンタミの問題についての解決案ともなり得、この面からも事故の防止を行い、安全性を確保することに貢献することができよう。

#### **5-1-4. 皮膜が厚い等、スパーク放電に配慮されたヒーターを選定する。**

前項 3 において明らかなように、ヒーターに直接加重をかけない設計とすることによって、日常における単純使用によるヒーターの損傷は防がれて、局所的な焼けによる発煙・発火を招く、スパーク等の放電を防ぐことができるが、さらに安全性を高めるための、より綿密な安全対策を行う場合は、被覆の厚いヒーターの選定を行えば、なお良い。

現行品のヒートプレスに用いられているポイリミドヒーターの皮膜はコンマ数ミリ程度の薄フィルムであるので、より皮膜の厚いヒーターの選定を行うか、そもそもポイリミドヒーターでなく、シリコンラバーヒーターなどの皮膜の厚いタイプの平面ヒーターなどの採用についても積極的に検討することが肝要となろう。

#### **5-1-5. アSEMBリ(組み立て)マニュアルを策定し、アSEMBリ時には日本人スタッフの現場監督によりマニュアル通りに組み立てられているか監視を行い、現場監督がいない場所でのアSEMBリを一切行わない。**

前項 1~4 の対策を行うことで、発煙・発火の原因となる設計要素はほぼ全て排除され、さらにアSEMBリ(組み立て)におけるミス等が発煙・発火につながることもほぼ無くなると言える。特に前項 3 の対策にてヒーターに直接プレスの圧力がかからない設計とすることで、アSEMBリ中に発生してしまう多少のバリやゴミ等の異物がヒーター近傍に混入しても、ヒーターが損傷する心配は殆どなくなり、このためにアSEMBリの要件・難度はかなり下がる。

しかし、アSEMBリ中に作業者の手抜き行為や、思い込みによる、手順や図面指示の無視行為などによる想定不可能なヒューマンエラーによる事故原因の発生が予想・対策されていれば、事前に予想不可能な万が一の事故の防止を行うことができ、より高次の安全性を確保できることとなる。

**5-1-6. アセンブリ(組み立て)後、必ずプロジェクト・マネジャーにより、全数の品質検査・動作確認検査を実施し、この品質検査・動作確認に合格しない機体を一切使用しない。**

前項5よりさらに、アセンブリ(組み立て)が終わった完成品のヒートプレスは、アセンブリマニュアルおよび現場監督の指示通りに問題なくアセンブリが行われたか、また各部品・各デバイスが問題なく動作しているか、品質検査と動作確認検査を綿密に行われればなお良い。

**5-1-7. ブザー(警報)を搭載する。**

一般に、利用に危険を伴う工作機器類では、危険察知・事故防止の機能として、異常事態を知らせる警報音(ブザー)の機能が搭載されることがある。また、一般的なサーモスタット(温度制御装置)には、この警報音(ブザー)を搭載するための出力端子が備えられていることが多く、ここにブザー(ないしスピーカー)を接続すれば、熱暴走などを起こして装置が想定異常に高温になった際などにはビープ音を鳴らして、ユーザーに異常事態を察知させる機能を容易に搭載することができる。

なお、現行のヒートプレスに用いられているサーモスタット(温度制御装置)にも、この警報音(ブザー)を搭載するための出力端子が備えられていたが、ブザー(ないしスピーカー)の接続は行われていなかった(納期ないし予算が足らなかった、などの理由が推測される)。

今後用いられるヒートプレスでは、ユーザーが異常事態や危険を察知するための機能として、異常事態を知らせる警報音(ブザー)の機能を搭載されるべきであろう。

**5-1-8. 緊急停止ボタンを搭載する。**

一般に、利用に危険を伴う工作機器などでは、危険・事故防止の機能として、異常事態にその動作を速やかにかつ完全に停止させる、緊急停止ボタンの機能が搭載されることがある。これは、いざユーザーの身に危険が迫った際に、ユーザーがパニック状態となって、一時的に通常通りの判断・操作ができなくなったときにでも、目下の危険から容易に逃れられるようにするための機能として搭載されるものである。

この機能は通常は、人体に危険が及ぶような非常に危険な自動工作機器(自動制御で刃物をコントロールして切削作業を行うマシンや、超高出力のレーザー機器、自動プレスマシンなど)に搭載される機能であり、手動でプレス操作し、かつ生命に大きな危機があるような危機がないヒートプレスに搭載するには少々大げさな機能と言えるが、ユーザーが貧困層の女性であることを鑑みて、ささいな危険においてもパニック状態になることもあり得るとの方が一の想定のもと、緊急停止ボタン機能を搭載するというのも考えらえる安全対策となる。

**5-1-9. フィードバックを2系統にし、制御部が万一故障した際のバックアップを備えた設計とする。**

安全対策をより万全にし、万が一の事故を防止するために、機器の温度をセンシングするフィード



バックを2系統配備することによって、メインの制御システムが故障するなど、何らかの異常により正常に動作しなくなった際のバックアップを備えることができる。

より具体的には、メインの制御システムである、温度センサおよびサーモスタットとは別に、さらにもう1セット別系統のセンサおよびサーモスタット(ないしサーモメータ)を、搭載する。

このことによる副次的効果として、普段の利用の際でも2系統の別々のセンサにより別々に表示される温度表示を比較しながら、異常・危険がないかどうか確認することができるので、より高精度に異常事態や危険を察知することにもつながり、これによってさらに事故の防止を行い、安全性を確保できるようになる。

#### 5-1-10. ユーザーに安全講習を義務付ける。

一般的な機械工作施設(工学・技術系の大学等の工房、ファブラボ等のデジタルファブリケーション施設、その他市民工房など)にて、利用者に施設の設備・工作機器の利用許諾を与える際には、利用に先立ち、利用者の安全を守るための安全講習を行うのが普通である。

利用者はこの安全講習によって、設備・工作危機を安全に使うための情報・ルールなどを知り、これに沿って利用を行うことで、設備・工作危機の利用時における安全の確保が行われる。

DTIと菅野青年海外協力隊員により運営される、ボホール州タグビララン市で実施中のヒートプレスをを用いたプロジェクトでは、ユーザーの女性には何らの安全講習が行われず、ユーザーの女性は安全対策について全く知識がないままに、ヒートプレスの利用が行われていたことがヒアリング調査によって明らかになっており、一部の利用者は「ヒートプレスの耐熱温度が400℃である」(実際は200℃強)などの間違った理解をしており、これによりヒートプレスの破壊(熱融解・焦げ・炎上)につながる、異常温度上昇の見逃しがあったこともまた、ヒアリングにより判明している。

今後用いられるヒートプレスマシンの運用では、ユーザーは安全講習を受けねばならぬものとするのが、考え得る安全対策の一つとなろう。

#### 5-1-11. メンテナンスルースを策定し、実施を徹底する。

いかなる設備・機械であっても、安全かつ無事故でそれを運用・利用するには、その機械に異常がなく、利用に際して危険がないのかを常日頃から確認し、少しでも異常があれば手入れを行うという、日常のメンテナンスが必要不可欠となる。換言すれば、メンテナンスを行うことで、軽微な不良箇所を発見することができ、修理不可能な大きな不良の発生を回避できるのであって、メンテナンス抜きには継続的・持続的な設備・機械の運用はありえないと言える。

現行のヒートプレスマシンでは、メンテナンスのルールが何ら設定されておらず、またメンテナンスの担当者も設定されていなかった。この結果、利用開始から半年経過した時点で、ヒートプレスの機体は掃除さえもされた形跡がなく、機体はひどく損傷(ひどいサビに侵されて、オイルタンクのネジが緩んでオイルが漏れたまま床に垂れ流しになっており、220Vの高圧部は埃まみれで、プレス

はガタついており、鉄板のプレス面にはいずれの機体でもプラスチック片がこびりついているなど)していた。

メンテナンスがしっかり行われた順調な機体であれば、放置すれば大事故につながるヒーターの初期な軽微な破壊(熱融解・焦げなど)などが万が一発生したとしても、ユーザーが「いつもと何か違う」と気づけることもあるが、メンテナンス不良でダメージが随所にあるような状態での利用では、敏感に異常を察知することも難しくなる。

今後用いられるヒートプレスマシンの運用では、全ての機体にメンテナンス担当者を設置し、設定されたメンテナンスルールのもと、定期的なメンテナンスを行うことが肝要となる。

## 5-2. 対策の妥当性

### 5-2-1. 他社製品との比較

前項 5-1 の対策案の妥当性を検討するために、筆者が所属する慶應義塾大学内の設備として利用実績のある、市販品のヒートプレスマシン(アズワン社製、AH-2003、市場価格 465,000 円:図 46)を参考として、その安全機能の比較を行った。以下の表 11 が、この結果の結果である。



(図 46) 市販ヒートプレス(アズワン社製、AH-2003)

(表11) 現行・市販・対策案による新設計の各ヒートプレスマシンの安全対策の比較

	現行のヒートプレス (高木元隊員による設計)	市販品のヒートプレス (アズワン AH-2003)	本調査による対策案による 新設計のヒートプレス
5-1-1 木材を利用しない設計	×	○	○
5-1-2 危険域までに昇温しないヒーター	×	×	○
5-1-3 ヒーターに直接加圧しない設計	×	○	○
5-1-4 スパークに配慮されたヒーター	×	○	○
5-1-5 アセンブリ時に日本人が監督	△ (常時ではないが高木隊員が 指導したとの談あり)	○ (日本製であるので、 一般的な常識として)	○
5-1-6 品質・動作確認検査の実施	×	○ (日本製であるので、 一般的な常識として)	○
5-1-7 ブザー(警報)の搭載	×	×	○
	(インジゲーターのみ)	(インジゲーターのみ)	(インジゲーター+ブザー)
5-1-8 緊急停止ボタンの搭載	×	×	○
5-1-9 2系統のフィードバック	×	? (不明)	○
5-1-10 ユーザーへの安全講習の義務付け	×	N/A	○
5-1-11 メンテナンスの義務化	×	N/A	○

一般にヒートプレスはラボ用の工作機器であり、よってプロユースが前提となる。このため、このアズワン社製のヒートプレス AH-2003 においても、ビギナーの利用を前提とした、“危険域にまで昇温しないヒーターの設計”や、“ブザー(警報)の搭載”や“緊急停止ボタンの搭載”などは成されていない。

その点、本調査報告書の前項5-1による対策案では、ビギナーの女性の利用を前提として、万が一の事故発生に配慮した、それらの安全対策機能を搭載しており、その面で市販品よりもしっかりと安全対策がなされていると言え、十分に妥当な安全対策であると考えられよう。

なお、この市販品ヒートプレスマシンに搭載されており、かつ今後用いられる新設計のヒートプレスの設計案に含まれない安全対策は、筆者のレビューの限りでは存在しなかった(=この市販品ヒートプレスマシンに施されている安全対策は、すべて今後用いられる新設計のヒートプレスの設計案には含まれている)ことを申し添える。

#### 5-2-2. 本調査の妥当性について

本報告書の冒頭の「1. 調査の経緯」でも述べたように、本報告書作成者である徳島および徳島の研究チームは、今回問題となったヒートプレスマシンについては、直接的には設計・運用のいずれにも関与しておらず、よって本来的には調査を行う責任も、本報告書を作成する責任も、直接的には存在しないものと考えられる。

徳島および徳島の研究チームが本調査を行い、また本調査報告書を執筆するのは、あくまで“発煙”という状況を鑑み、ユーザーの安全確保を行うべきであるという人道的見地からであり、また、このような安全の確保のための原因究明は、現地では徳島チームにしか不可能であろうという使命

感からのものである。

このようなモチベーションであるので、徳島および徳島の研究チームは、本調査の実施、および本調査報告書の執筆にあたり、調査費および渡航費、現地滞在費などの一切を、JICA を含めた現行のヒートプレスおよびそれを用いたプロジェクトの設計者・管理者・運用者・受益者のいずれの関係者からも受け取っておらず、ボランティアベースでこの調査を行ったものである。

繰り返しとなるが、本調査、および本報告書は「ヒートプレスのユーザーの安全を守る」ことを唯一の目的として、そのための客観的事実を得るために調査・作成されたものであり、その点で、本報告書に記載される各種オブザベーション、ヒアリング、検証実験によるデータ、およびそれから導き出された論考が、フラットなスタンスで実施された、事実元にした客観的なものであることが、ある程度裏付けられよう。

とは言え、限られた時間的・人的リソースで行った調査であり、また検証実験などにおいても、実験環境・手法・手順も併記しつつ、実験自体の妥当性についても読み手が判断できるように配慮をしたつもりではあるものの、実験設備等も十分でない状態でのできる限りのものであったので、その面で、本調査および本調査の妥当性については、読み手による一定の考慮が必要とされよう。

本項の以下の表 12 にて、本調査および本調査の妥当性について、より読み手が考慮を深めることができるよう、社会科学の研究手法を引用して、本調査にて日時・場所・投入リソースなどについて報告を行うので、妥当性の検討のための判断材料の一つにされたい。



(表 12)本調査の実施日時・場所・投入リソース等

日付	実施・作業内容	実施場所	実施者	実施人数 (人)	実施時間 (時間:チームあたり)	合計 実施時間 (時間)
11月6日	・対策方針会議(チーム内)	現地と慶應とのSkype	徳島、松浦、ルリダ	3	2	6
11月7日	・対策対策会議(DTIジェローム氏)	DTIボホール支局	松浦、ルリダ	2	2	4
11月8~26日	・DTIジェローム氏と菅野青年海外協力隊員による生産活動の停止待ち					
11月27日	・対策方針会議(JICA PH事務所、鹿野次長、武藤様、浅田様)	JICAフィリピン事務所	徳島	1	1	1
	・Cogonの2台を解体、および目視検査・調査・撮影	バランガイCogon	松浦、ルリダ	2	3	6
	・ディスカッション(チーム内)	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	1	2
11月28日	・Poblacion IIの1台を解体、および目視検査・調査・撮影	バランガイPoblacion II	松浦、ルリダ	2	2	4
	・Dampasの1台を解体、および目視検査・調査・撮影	バランガイDampas	松浦、ルリダ	2	2	4
	・ディスカッション(チーム内)	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	1	2
11月29日	・Cogonの目視検査・調査・撮影	バランガイCogon	徳島、松浦、ルリダ	3	0.75	2.25
	・Poblacion IIの目視検査・調査・撮影	バランガイPoblacion II	徳島、松浦、ルリダ	3	0.75	2.25
	・Dampasの目視検査・調査・撮影	バランガイDampas	徳島、松浦、ルリダ	3	0.5	1.5
	・Dampasの1台解体作業	バランガイDampas	徳島、松浦、ルリダ	3	1	3
	・ディスカッション(チーム内)	PWP for IWI PJオフィス	徳島、松浦、ルリダ	3	1	3
	・中間報告書の作成	PWP for IWI PJオフィス	徳島	1	3	3
11月30日	・中間報告書の作成	PWP for IWI PJオフィス	徳島	1	6	6
12月1日	・DTI報告用プレゼンテーションPPT作成	PWP for IWI PJオフィス	徳島、松浦	2	2.5	5
	・DTI報告・対処方針会議(DTIマリソル氏、ジェローム氏)	DTIボホール支局	徳島、松浦、ルリダ、ガリアレス	4	2	8
12月4日	・FabLab Boholへの報告と対処方針会議	ボホール島州立大学	徳島、松浦、ルリダ	3	2	6
	・FabLab Boholでの報告会議の議事録作成と配布	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	1	1
12月5日~7日	・JICAフィリピン事務所による菅野隊員の活動の取材のために、調査の一時停止					
12月7日	・上記取材の参加よりプレゼン予定を欠席した 現地女性のフォローアップ(市役所の市長室向け)	PWP for IWI PJオフィス	徳島、松浦、ルリダ、ジェイ	4	2	8
12月7日(夜間)	・上記取材により移動された資機材等の破損等の検査・現状回復等 Cogonの1台の解体作業	バランガイCogon	徳島、松浦	2	1	2
		バランガイCogon	徳島、松浦	2	2	4
12月8日	・上記取材により移動された資機材等の破損等の検査・現状回復等 Cogonの1台の解体作業(続き)	バランガイCogon	徳島、松浦	2	1	2
	・Cogonでのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査	バランガイCogon	徳島、松浦	2	2	4
	・Cogonでの再目視検査と撮影	バランガイCogon	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Cogonの温度センサ・サーモスタット・SSRの回収	バランガイCogon	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Poblacion IIでの1台の解体作業	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	1	2
	・Poblacion IIでのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	2	4
	・Poblacion IIでの再目視検査と撮影	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Poblacion IIの温度センサ・サーモスタット・SSRの回収	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Dampasのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査	バランガイDampas	徳島、松浦	2	2	4
	・Dampasでの再目視検査と撮影	バランガイDampas	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Dampasの温度センサ・サーモスタット・SSRの回収	バランガイDampas	徳島、松浦	2	0.5	1
12月9日	・実験環境の構築(必要部材の購入等)	セブ市	徳島、松浦	2	4	8
12月10日	・熱電対温度センサの動作確認実験	フィリピン大学セブ校	徳島、松浦、ルリダ	3	8	24
12月11日	・熱電対温度センサの動作確認実験(続き)	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	2	4
	・サーモスタットの動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	4	8
	・Dampasのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査(続き)	バランガイDampas	松浦	1	3	3
	・実験結果を受けての原因考察会議	現地と慶應とのSkype	徳島	1	1	1
12月12日	・熱電対温度センサの異常圧力下(タッカー)動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	3.5	7
	・熱電対温度センサの異常圧力下(プレス庄)動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	4	8
	・SSRの動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	ルリダ	1	3	3
	・カプテンテープ等の断熱性検証実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	3	3
	・実験結果を受けての原因考察会議	現地と慶應とのSkype	徳島、松浦、ルリダ	3	2	6
12月13日	・水蒸気・アセンブリ・セッティング等の因果関係調査・実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	4	8
	・ベニヤの低温燃焼実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	4	4
	・実験結果を受けての原因考察会議	現地と慶應とのSkype	徳島、松浦	2	2	4
	・最終報告書作成	慶應義塾大学	徳島	1	8	8
12月14日	・市役所・DTI報告会議	市役所会議室	松浦、ルリダ、ガリアレス	3	1.5	4.5
	・市役所・DTI報告会議の議事録作成	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	1	1
	・最終報告書作成(続き)	慶應義塾大学	徳島	1	8	8
12月18日	・慶應義塾内部での安全対策方針会議(第一回)	慶應義塾大学	厳、徳島、その他博士学生	2	3.5	7
	・慶應義塾内部での安全対策方針会議(第二回)	慶應義塾大学	厳、徳島	2	0.5	1
	・安全対策にかかる書類作成	慶應義塾大学	徳島	1	6	6
	・最終報告書作成(続き)	慶應義塾大学	徳島	1	8	8
12月19日	・最終報告書作成(続き)	慶應義塾大学	徳島、松浦	2	4	8
合計リソース投入時間					250.5	
(M/M換算) 1.56 M/M						

## 6. まとめ

ヒートプレスマシン(DTI と高木元青年海外協力隊員が設計し、DTI が管理し、DTI および菅野青年海外協力隊員によって運用されている、現行品)について、ユーザーより発煙があるとの報告があり、DTI より、徳島がボホール島において独自研究資金により構成する現地研究チームにから発煙の原因究明の調査の依頼があった。徳島およびチームは人道的見地より、ボランティアにてこの調査を行った。調査時間は約 250 時間(約 1.5MM)に及んだ。

ヒートプレスは、Cogon バランガイに 3 台、Poblacion II バランガイに 2 台、Dampas バランガイ 2 台の計 7 台が設置されており、これら全台数を分解して状況を調査した。この調査の結果、全機体(100%)で、焼け・焦げなどからなる何らかの損傷が見られた。

また、高電圧である 220V の漏電の可能性のある機体は、全体の約 57%(8/14)であった。

またさらに、調査により、主たる発煙発生箇所は、ヒートプレスのヒーターおよびヒーターに密着した板材であることが特定され、かつ以下の 2 種の様子を呈する焼け・焦げ跡が観察された。

- A. 局所的な焼け跡(43%で発生)
- B. 広範囲における、焦げ・焼け(79%で発生)

このうち、“A. 局所的な焼け跡”の発生原因は、短時間のスパーク等の放電であったと考える。このスパーク等の放電は、

- ・センサの取り付け方法に起因するヒーター被覆の破れ
- ・組み立ての雑さに起因する傷の発生による被覆の破れ
- ・部品製作の雑さに起因するバリの発生による被覆の破れ

を原因として発生したもので、どれも組立時の取扱い・作業が、非常に粗く、雑であったことより起こった、組立不良に起因するものであると推測される。

また、“B. 広範囲における、焦げ・焼け”の発生原因は、本調査にて行った各種の検証実験により、温度制御デバイス(熱電対温度センサ、サーモスタット、SSR など)の異常が認められず、またアセンブリ(組み立て)や水蒸気の発生に起因する大きな熱暴走がないことが確認できたことから、想定通りの制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こったことによるものと考えられる。

実際に想定範囲内といえる 180 度程度でヒートプレスに使われる板材を熱したところ、木材にヒートプレスのものと同様の焦げが起こった。よって、そもそもヒートプレスの熱源(ヒーター)の近接部に、断熱材等を介さずに木材を設置する設計そのものに問題があったと考えられる。

さらに本調査におけるヒアリング等においては、ヒートプレスのオペレーションにおいて、明らかな異常を知らせる発煙や強い異臭の発生を把握しつつ、尚且つ使用が続行されたことが明らかになっており、本問題は設計だけの責に帰すものではなく、オペレーションにも多くの過失があったと考えられる。

以下などは、それら過失の中でも特に、当然解決されていて然るべき対処であったと考えられる。

- ・管理者・運用者(現場監督)がそもそも安全知識をもっていない
- ・ユーザーへの安全講習がない
- ・メンテナン斯拉ール・担当者が設定されていない

最後に、本調査報告では、上記のような問題を解決し、今後安全なヒートプレスの設計・運用を行うために、市場に流通する一般的なヒートプレスなどを参考にしながら、以下の 11 の安全対策案を提案した。

- ・木材を利用しない設計
- ・危険域までに昇温しないヒーター
- ・ヒーターに直接加圧しない設計
- ・スパークに配慮されたヒーターの選定
- ・アセンブリ時の日本人による監督
- ・品質・動作確認検査の実施
- ・ブザー(警報)の搭載
- ・緊急停止ボタンの搭載
- ・2系統のフィードバックの搭載
- ・ユーザーへの安全講習の義務付け
- ・メンテナンスの義務化

以上の対策を施すことで、今後問題なく、安全にヒートプレスを設計・運用できるものと考えられる。

以上

# Thermal analysis simulation for heater of heat press machine (Ver2)

January. 31. 2018

Graduate School of Media and Governance

Wanglin Yan Lab.

D2. Yutaka TOKUSHIMA

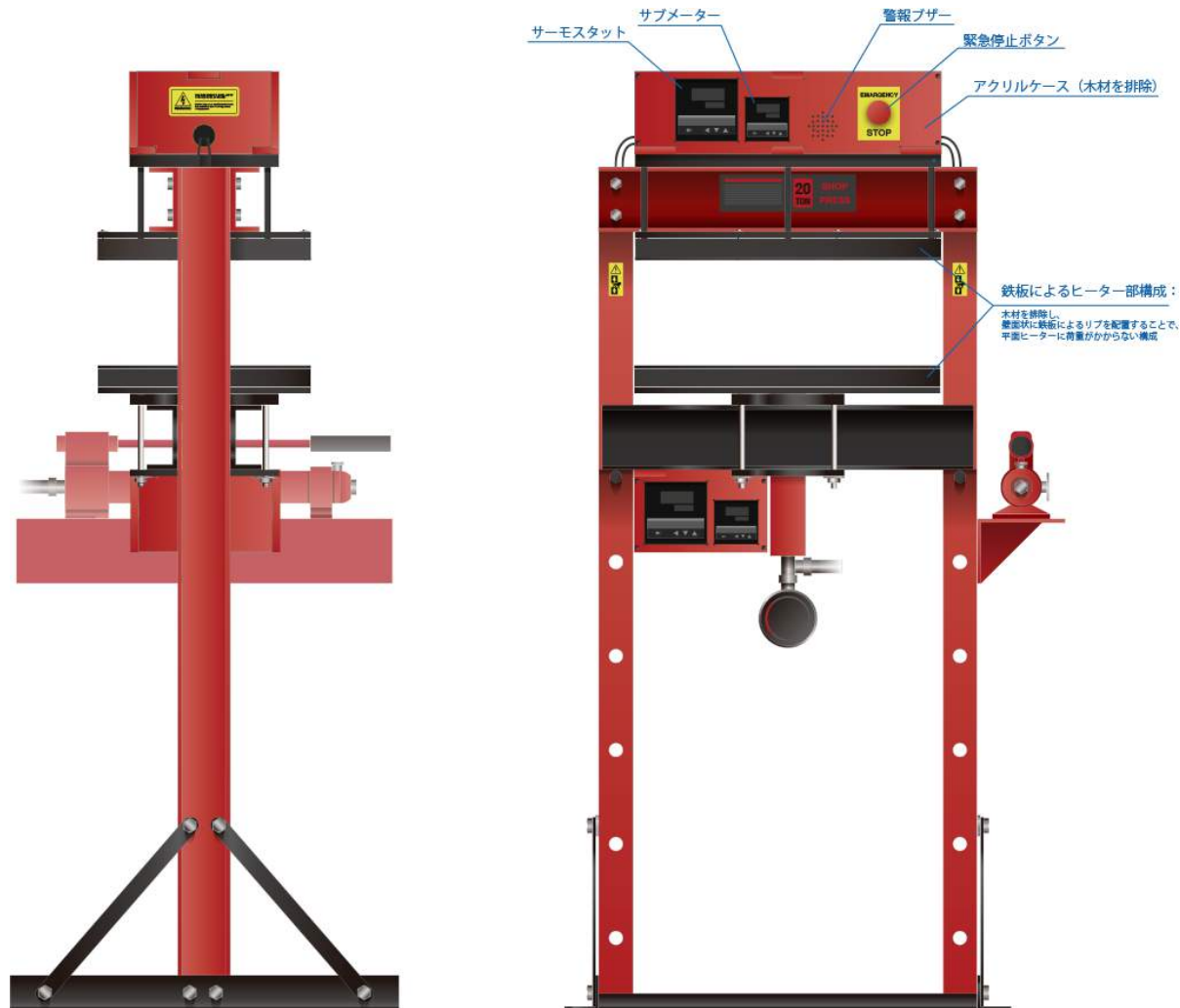


# Future measures

## Specific design improvement plan

1. No wood parts use.
2. Equipped with emergency buzzer.
3. Equipped with emergency stop bottom.
4. Equipped with backup of feedback.  
(Equipped 2nd thermostat)
5. Make heater lower power that heater can not rise to a dangerous temperature.

# (Almost) improved design that could be accorded improvement plan.





# Future measures

## Specific design improvement plan

- Done! ~~1. No wood parts use.~~
- Done! ~~2. Equipped with emergency buzzer.~~
- Done! ~~3. Equipped with emergency stop bottom.~~
- Done! ~~4. Equipped with backup of feedback.  
(Equipped 2nd thermostat)~~
- 5. Make heater lower power that heater can not rise to a dangerous temperature.



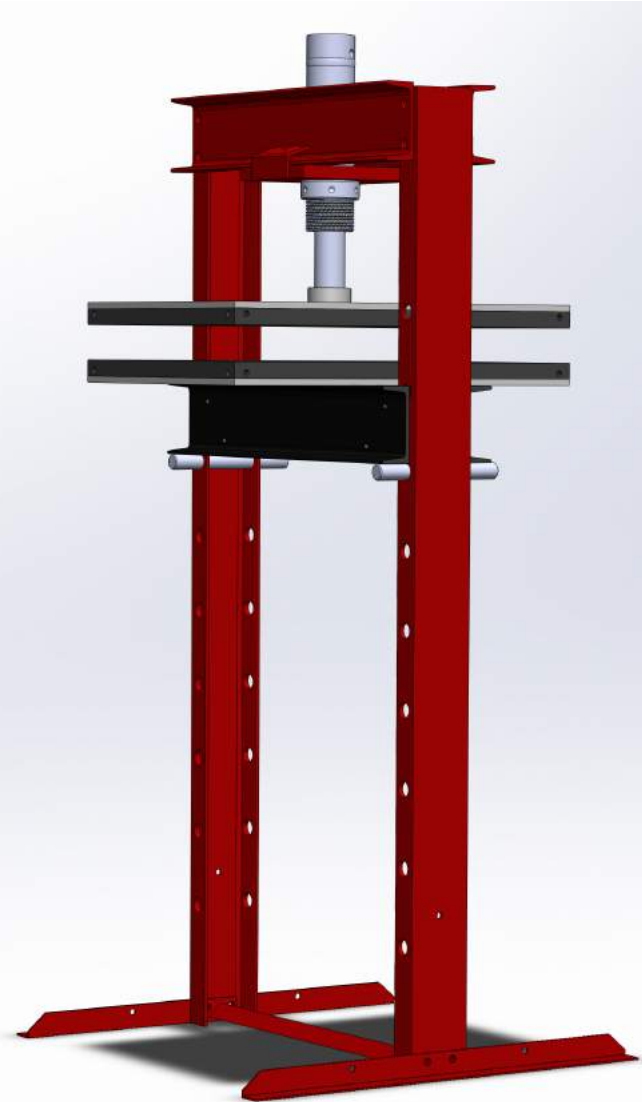
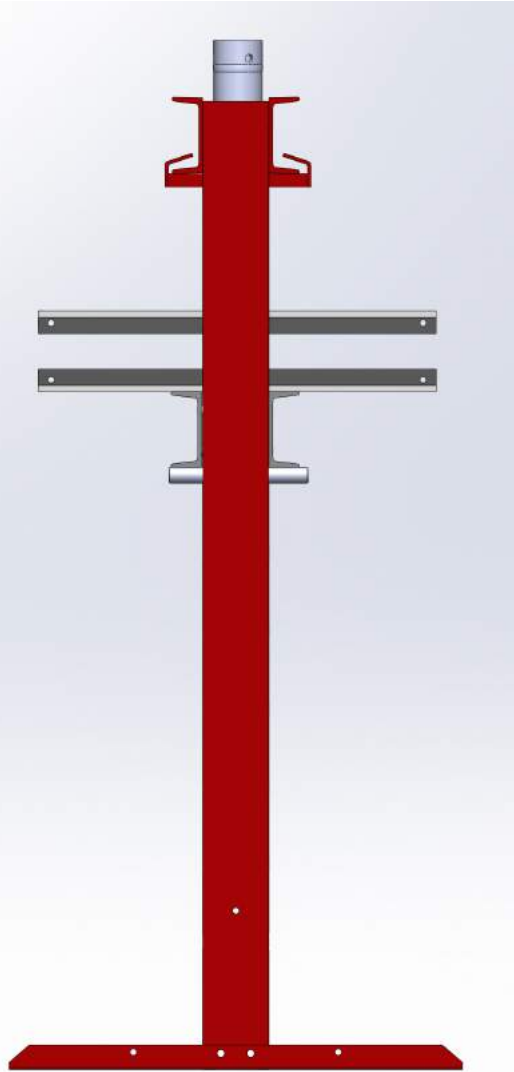
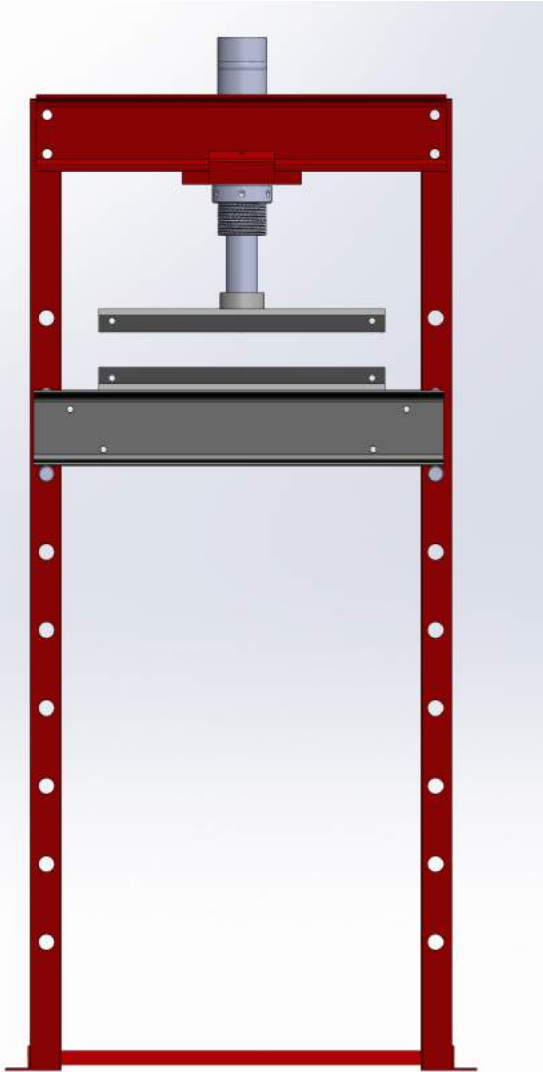
# 1. TRYING

Thermal analysis simulation for heater of  
heat press machine

FOR

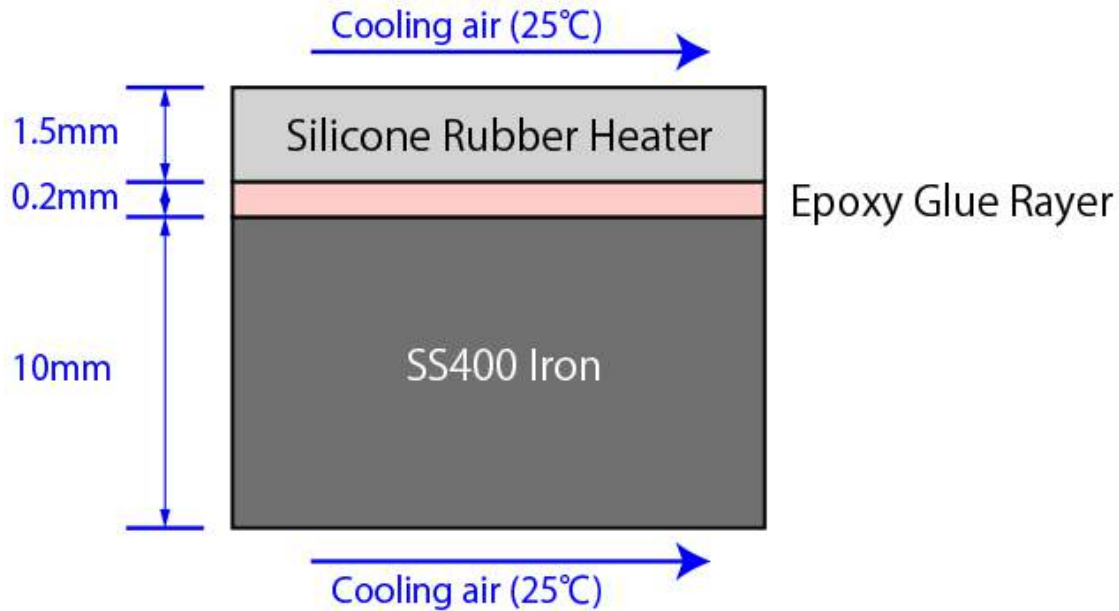
Make heater lower power that heater can  
not rise to a dangerous temperature.

2D drawing → 3D modeling (Going on)





## Simulation including Thermal Resistance of Epoxy Layers

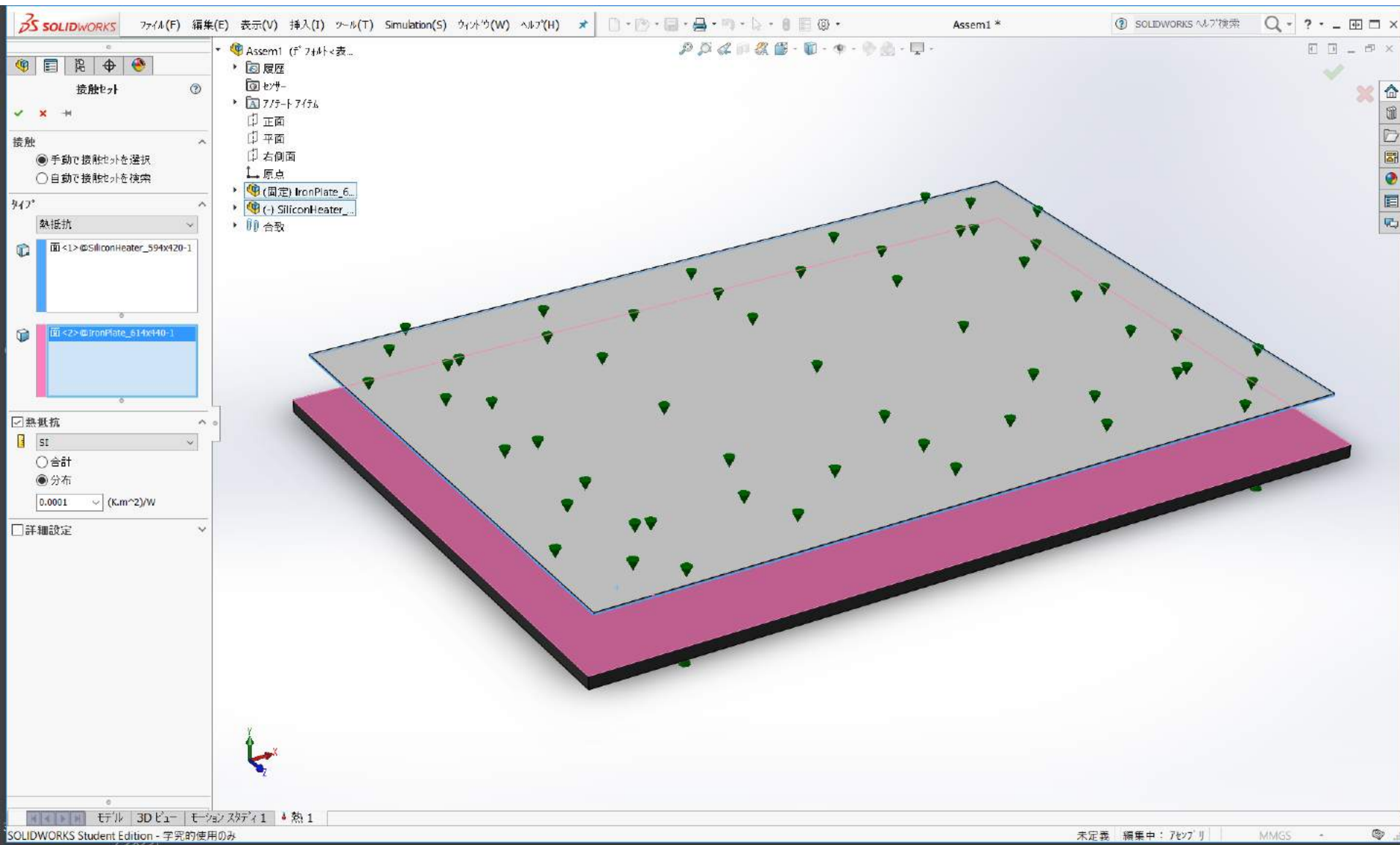


- Silicone rubber heater and iron plate are adhered with 0.2 mm thickness epoxy layer.
- Due to natural convection, cooling air is applied to the upper surface of the rubber heater and the lower surface of the iron plate.

Parameter value :

- Temperature of cooling air = 25°C
- Heat transfer coefficient of convection (Air) = 250 W/m<sup>2</sup>K
- Thermal contact resistance per unit area = 1X10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>K/W

# Set thermal resistance of epoxy layers





Parameter value of silicone rubber heater material:  
Thermal conductivity = 1800 W/m.K  
Specific heat = 1530 J/(kg\*K)

The screenshot shows the SolidWorks Material Properties dialog box for a user-defined material named 'Silicon Laber Heater'. The left pane shows the material hierarchy under 'thermal\_contact'. The right pane shows the material properties, including a table of values.

材料特性  
デフォルト ライブラリの材料を編集することはできません。まず材料をユーザー定義ライブラリにコピーしてから編集してください。

モデルタイプ(M): 線形等方性弾性  
単位(U): SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
カテゴリ(T): thermal\_contact  
名前(M): Silicon Laber Heater  
デフォルト破壊基準(F): 最大Von-Mises応力  
注記(D): Silicon Laber Heater  
ソース(O):  
Sustainability: 未定義

プロパティ	値	単位
せん断弾性係数		N/m <sup>2</sup>
質量密度	2300	kg/m <sup>3</sup>
引張強さ		N/m <sup>2</sup>
圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ		N/m <sup>2</sup>
熱膨張率		/K
熱伝導率	1800	W/(m·K)
比熱	1530	J/(kg·K)

ここをクリックし、多くの材料にアクセスできる  
SOLIDWORKS Materials Web Portalを使用しま

開く...(O) 適用(A) 閉じる(C) 保存(S) コンフィグ...(N) ヘルプ(H)

Parameter value of iron plate (SS400) :  
 Thermal conductivity = 58 W/m.K  
 Specific heat = 460 J/(kg\*K)

材料

SolidWorks DIN Materials

- DIN アルミ合金
- DIN 銅合金
- DIN 鉄
  - 0.6010 (EN-GJL-100)
  - 0.6015 (EN-GJL-150)
  - 0.6020 (EN-GJL-200)
  - 0.6025 (EN-GJL-250)
  - 0.6030 (EN-GJL-300)
  - 0.7033 (EN-GJS-350-22-LT)
  - 0.7040 (EN-GJS-400-15)**
  - 0.7043 (EN-GJS-400-18-LT)
  - 0.7050 (EN-GJS-500-7)
  - 0.7060 (EN-GJS-600-3)
  - 0.7070 (EN-GJS-700-2)
  - 0.7080 (EN-GJS-800-2)
  - 0.8035 (EN-GJMW-350-4)
  - 0.8038 (EN-GJMW-360-12)
  - 0.8040 (EN-GJMW-400-5)
  - 0.8045 (EN-GJMW-450-7)
  - 1.0420 (G200)
  - 1.0446 (G230)
  - 1.0552 (G260)
  - 1.0558 (G300)
- DIN 鋼 (合金)
- DIN 鋼 (快削)
- DIN 鋼 (熱間工具)

プロパティ テーブル&カーブ 外観 ハッチング ユーザー定義 アプリケーションデータ お気に入り

材料特性  
 デフォルト ライブラリの材料を編集することはできません。まず材料をユーザー定義ライブラリにコピーしてから編集してください。

モデルタイプ(M): 線形等方性弾性

単位(U): SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)

カテゴリ(T): DIN 鉄

名前(M): 0.7040 (EN-GJS-400-15)

デフォルト破壊基準(F): 最大Von-Mises応力

注記(D): GGG 40

ソース(O): 30<t<=60mm の引張強さと降伏応力

Sustainability: 定義

プロパティ	値	単位
引張強さ	400000000	N/m <sup>2</sup>
圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ	250000000	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	1.15e-005	/K
熱伝導率	58	W/(m·K)
比熱	460	J/(kg·K)
材料減衰比		N/A

ここをクリックし、多くの材料にアクセスできる  
 SOLIDWORKS Materials Web Portal を使用しま

開く...(O) 適用(A) 閉じる(C) 保存(S) コンフィグ...(N) ヘルプ(H)

# Set convection

The screenshot displays the SolidWorks CAD environment. The left-hand pane shows the 'Convection' (対流) property tree with two selected entities: '面<1>@SiliconHeater\_594x420-1' and '面<2>@IronPlate\_614x440-1'. The central 3D view shows a blue silicon heater assembly with green arrows indicating convection boundary conditions. The right-hand pane shows the 'Convection' property manager with the following settings:

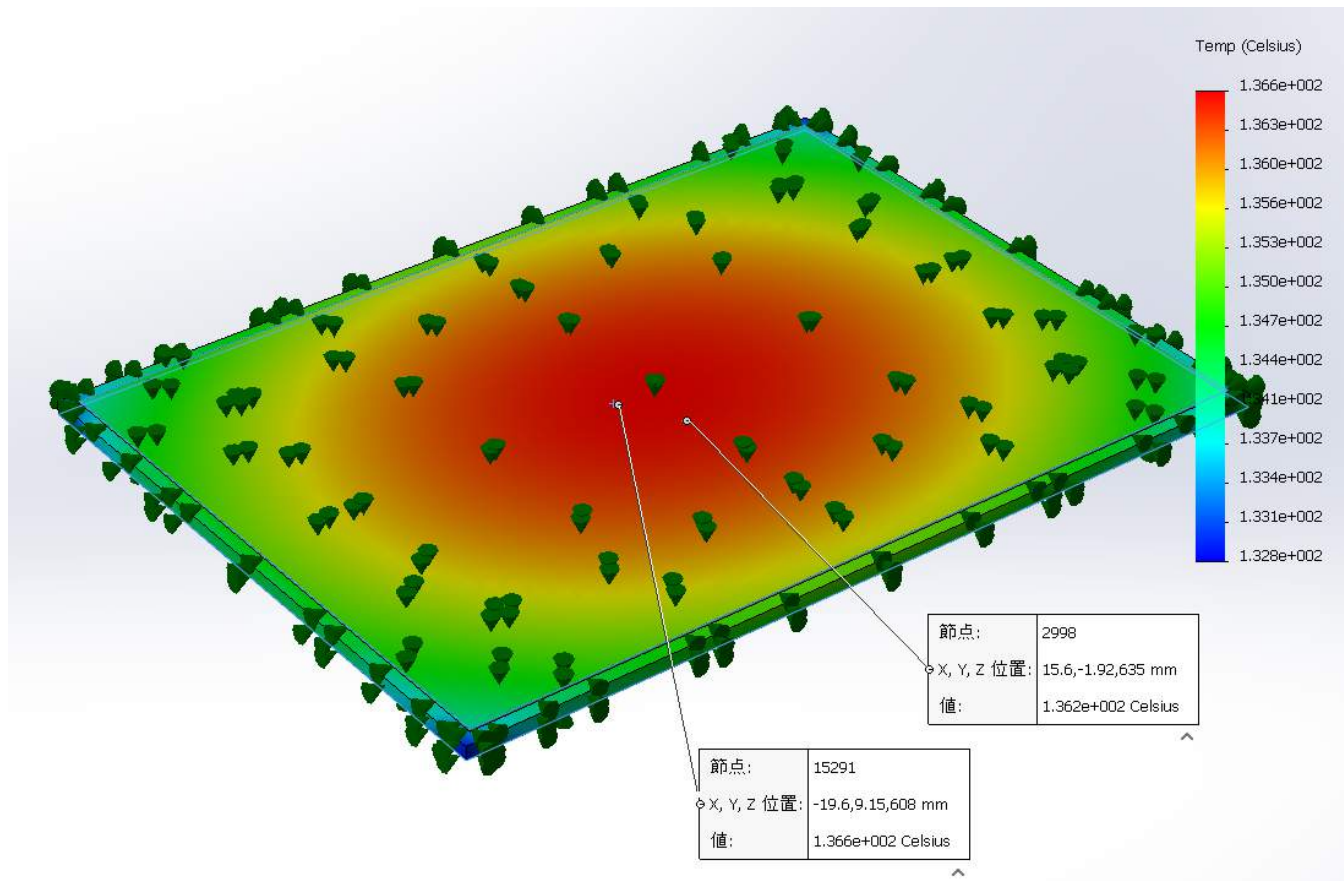
熱伝達係数 (W/(m <sup>2</sup> ·K)):	250
参照周囲温度 (Kelvin (K)):	298

The bottom status bar indicates 'SOLIDWORKS Student Edition - 学究的使用のみ' and '法線の距離: 48.63mm 未定義 編集中: アセンブリ MMGS'.

# Result of Analysis

Case of 900W is set as heating value for the heater :

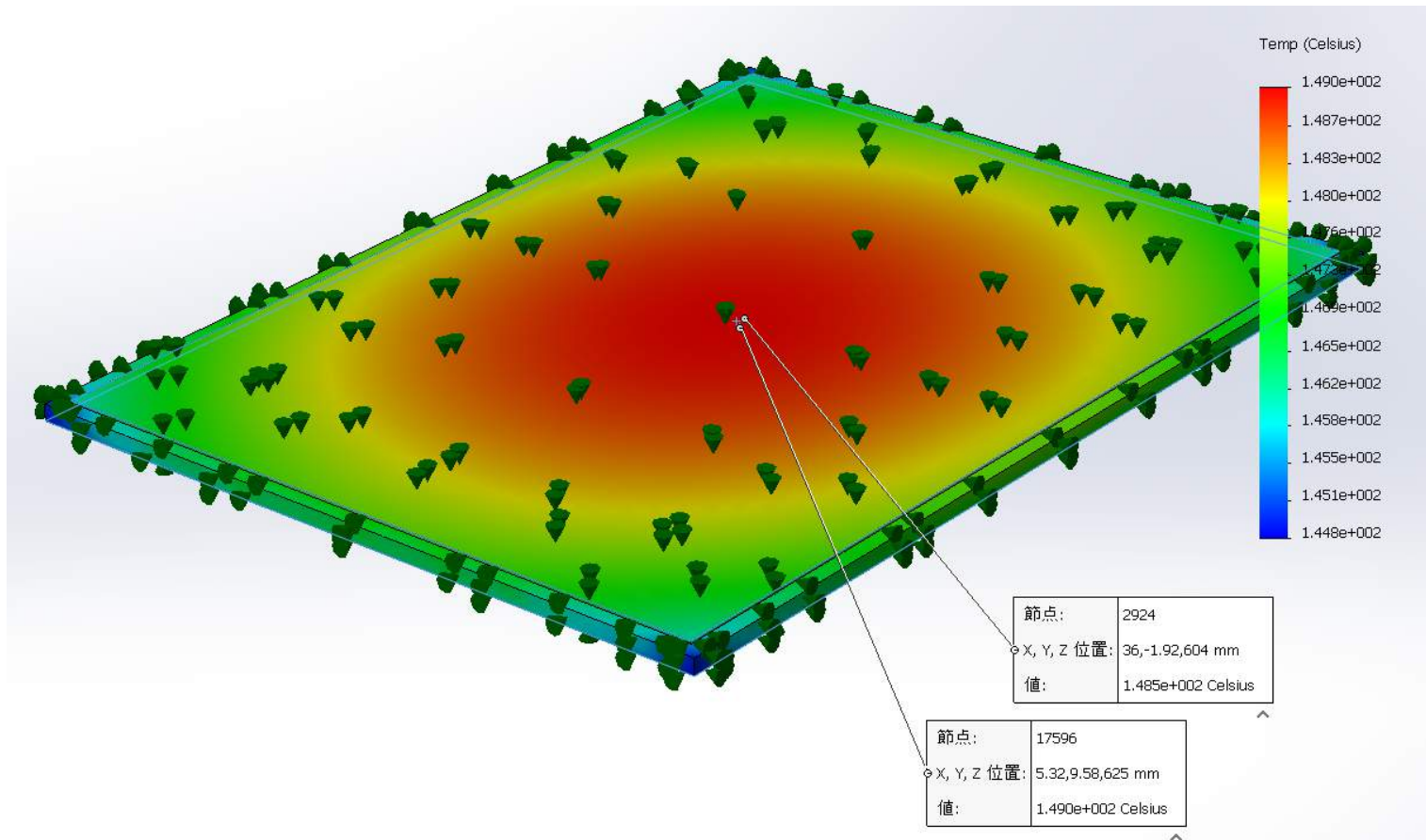
- Center part of heater  $137^{\circ}\text{C}$  (Safety)
- Center part of iron  $136^{\circ}\text{C}$  (Lower limit for using)





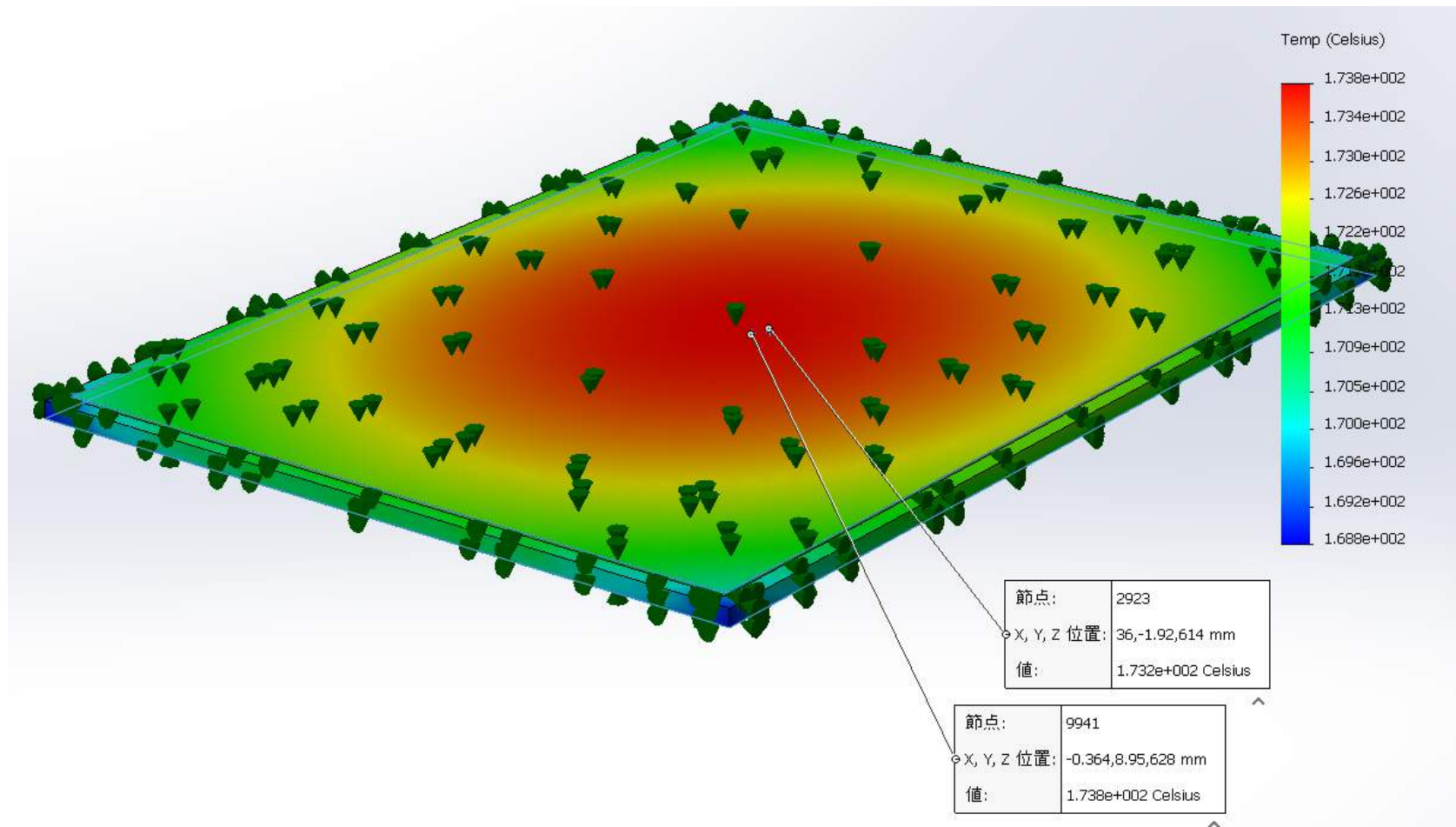
Case of 1000 W is set as heating value for the heater :

- Center part of heater  $149^{\circ}\text{C}$  ( Safety )
- Center part of iron  $148^{\circ}\text{C}$  ( Better for using )

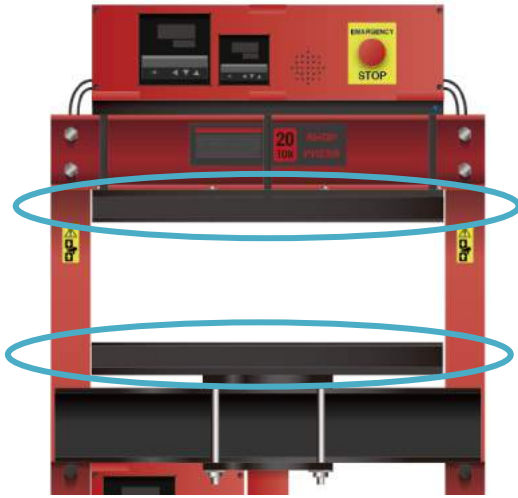


Case of 1200 W is set as heating value for the heater :

- Center part of heater  $174^{\circ}\text{C}$  (Upper limit for Safety)
- Center part of iron  $173^{\circ}\text{C}$  (Upper limit for using)



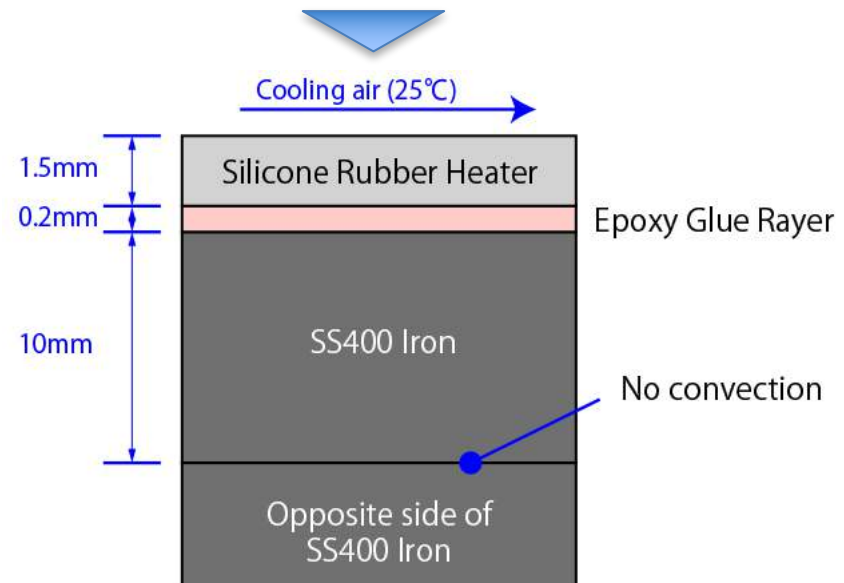
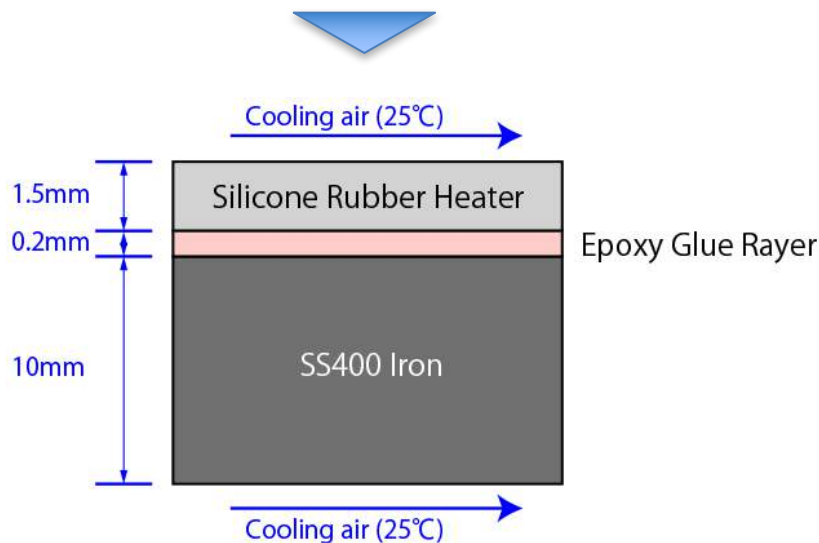
I simulated also,  
Case of upper and lower iron stuck together = There is no convection



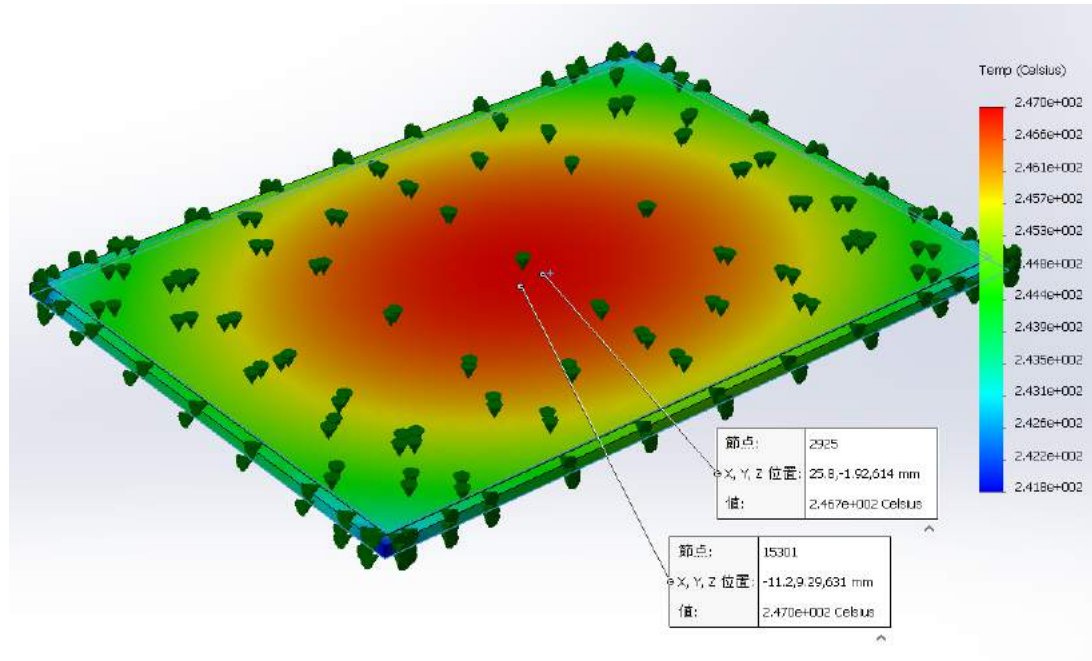
Normal situation



Situation of most dangerous



## Case of 1200W



About **247** degrees in both front and back

If there is no resistance between upper iron plate and lower iron plate, exceeding the upper limit for useful power.

# Result of Simulation

When you want to control the iron plate within room temperature + 150 degrees, by A2 size silicone rubber heater with epoxy adhesive,

heater is required **1200 W** as appropriate wattage.

⊗ Safety measures are necessary, When there is no resistance between the iron plate and the iron plate.



# Future measures

## Specific design improvement plan

Done!

Done! ~~1. No wood parts use.~~

Done! ~~2. Equipped with emergency buzzer.~~

Done! ~~3. Equipped with emergency stop bottom.~~

Done! ~~4. Equipped with backup of feedback.  
(Equipped 2nd thermostat)~~

Done! ~~5. Make heater lower power that heater  
can not rise to a dangerous temperature.~~

Thank you very much

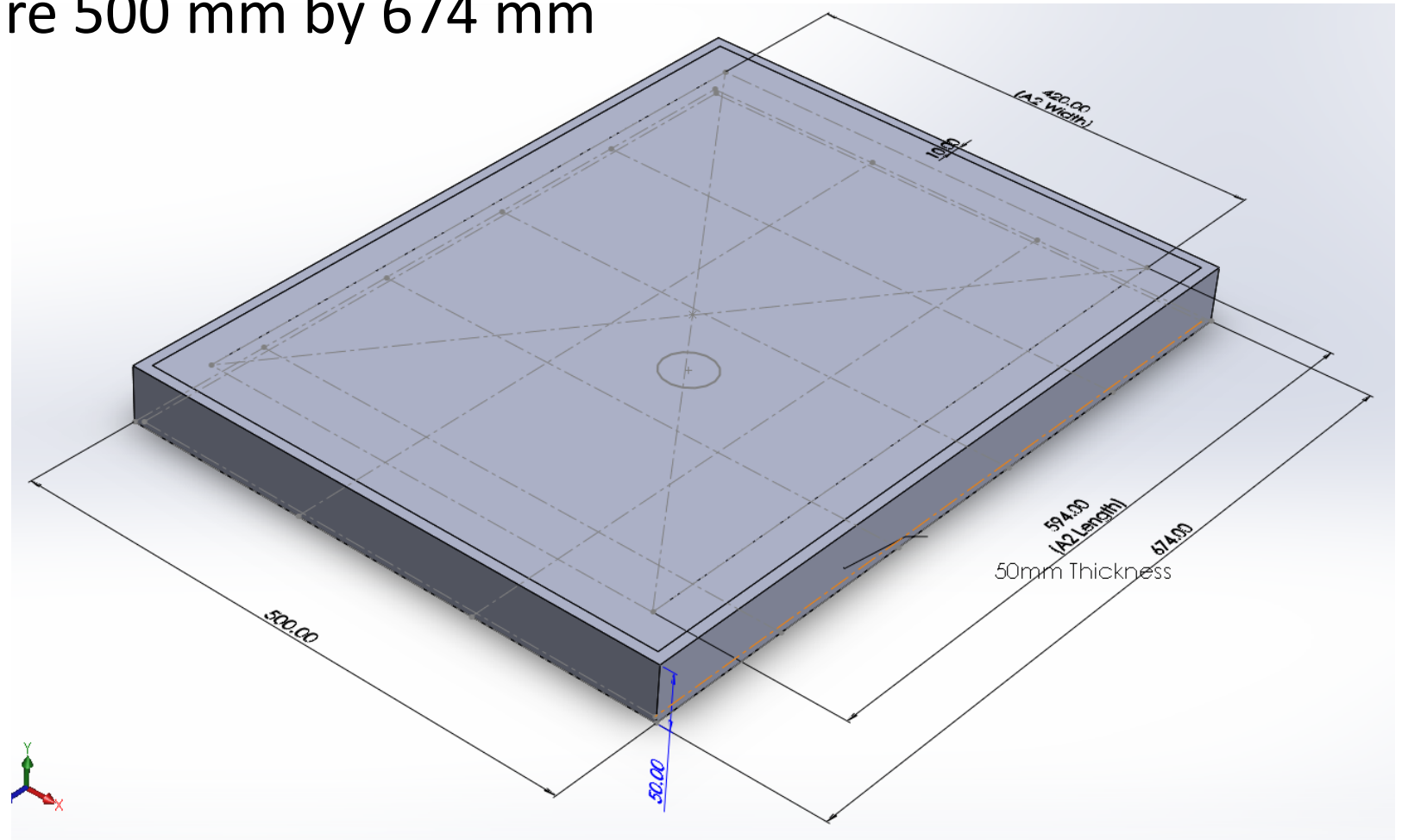
# Initial Results of Heat Plate Mechanism using Topology

# Design Considerations

1. Simplify the design of the heat plate mechanism using topology study
2. Adjust the results of (1) to meet the safety considerations.

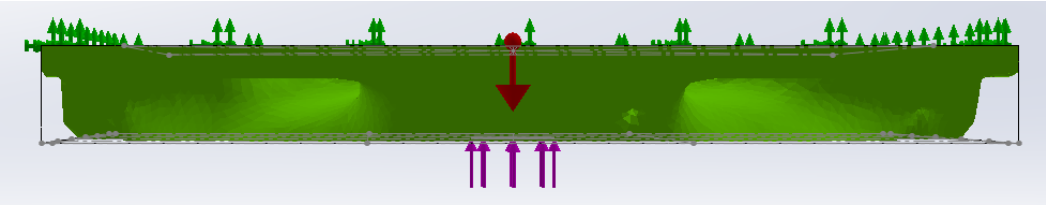
# Simplification of Design

- A 50 mm thickness plate was used as the basic design part
- The dimensions are 500 mm by 674 mm

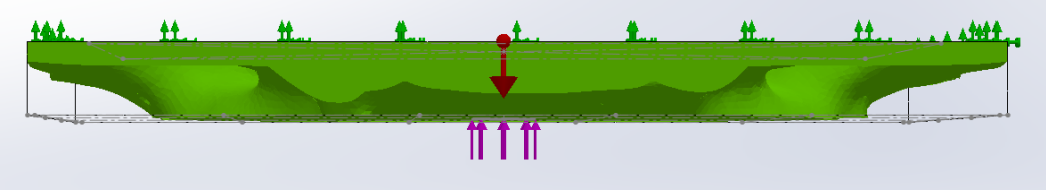




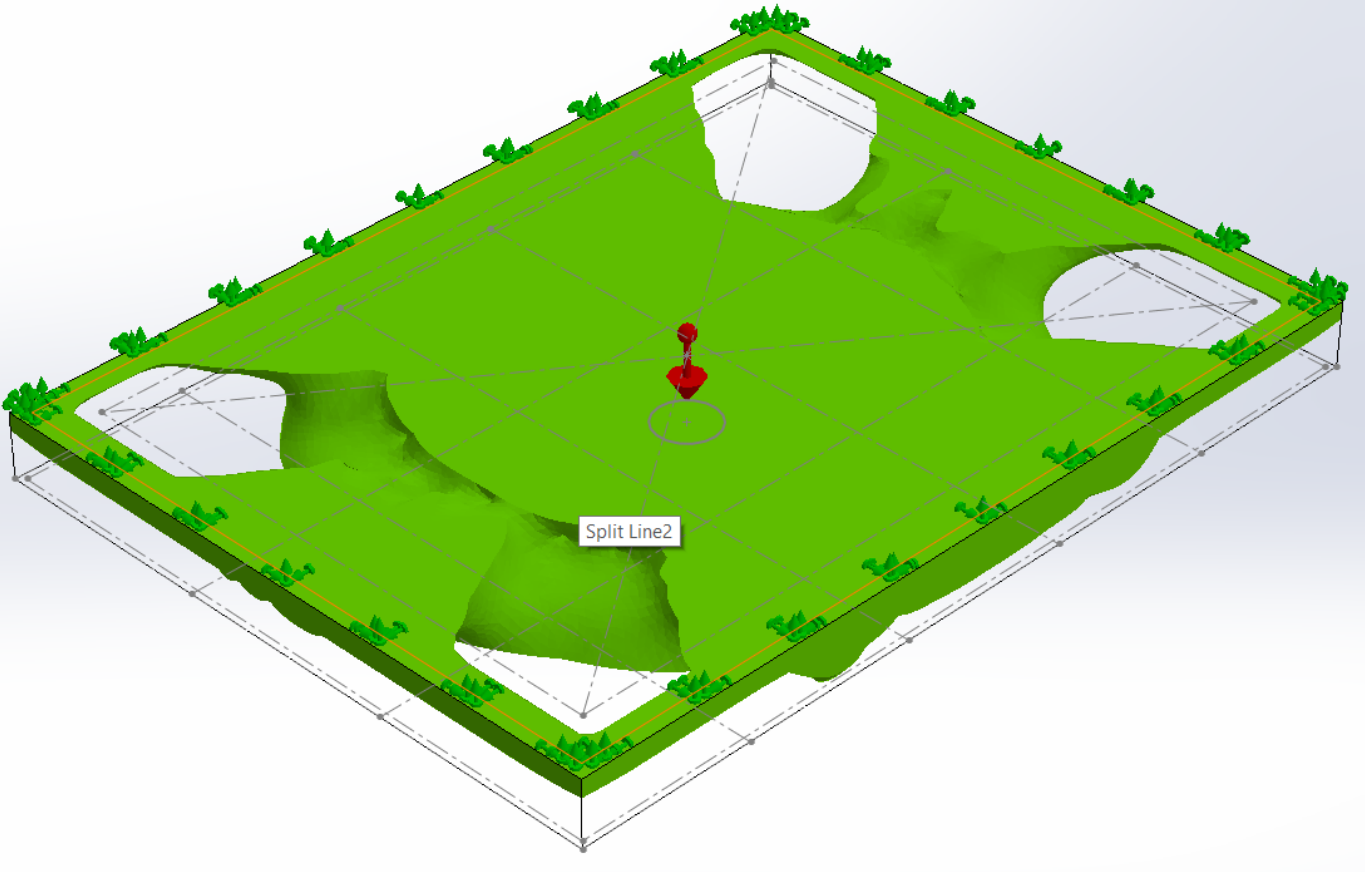
# Topology Study Results



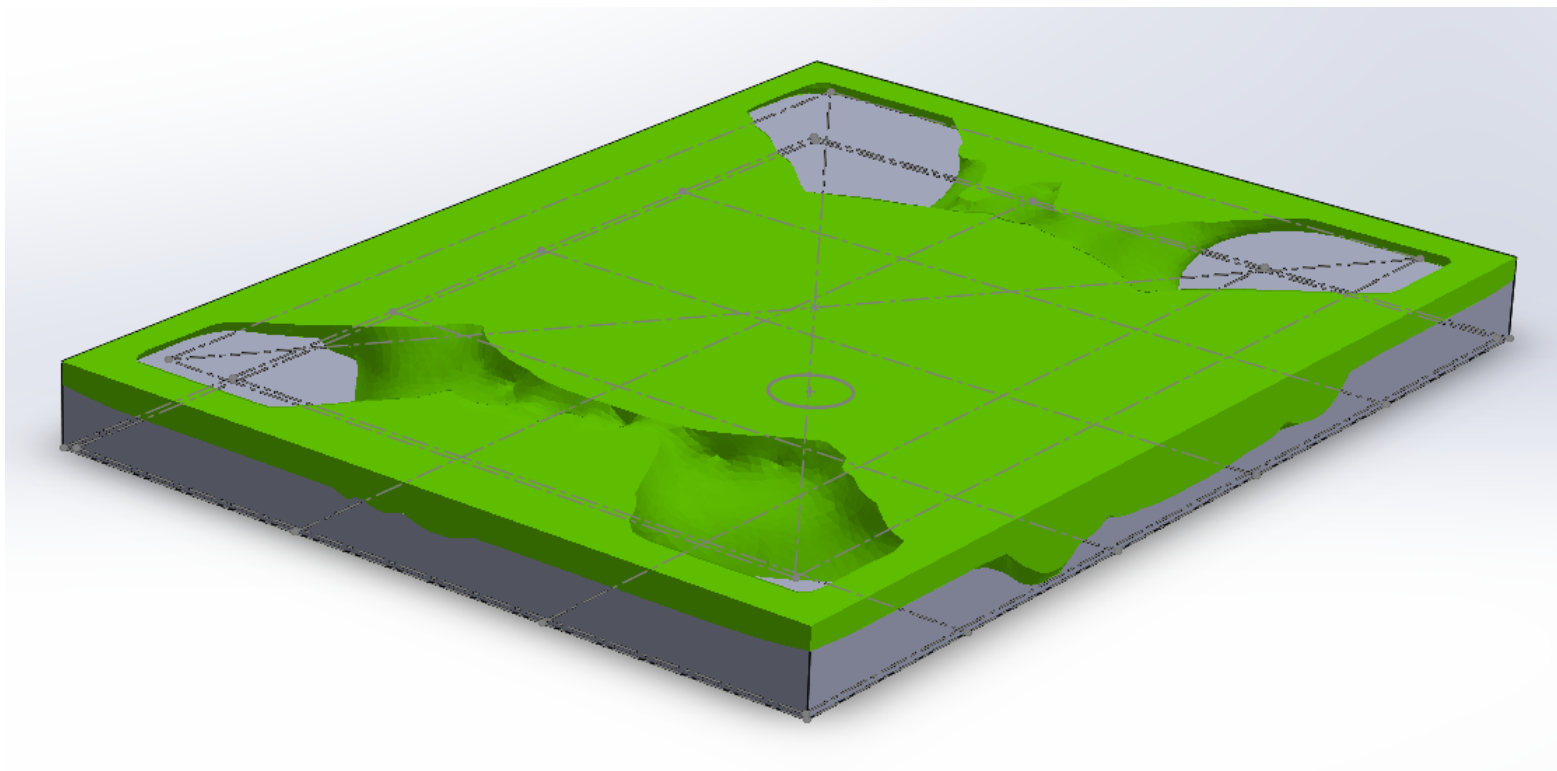
Front View



Right Side View



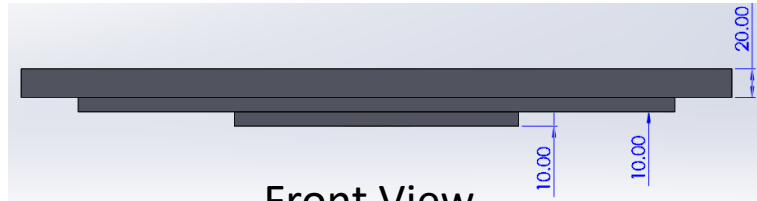
# Topology Study Results as Design Guide



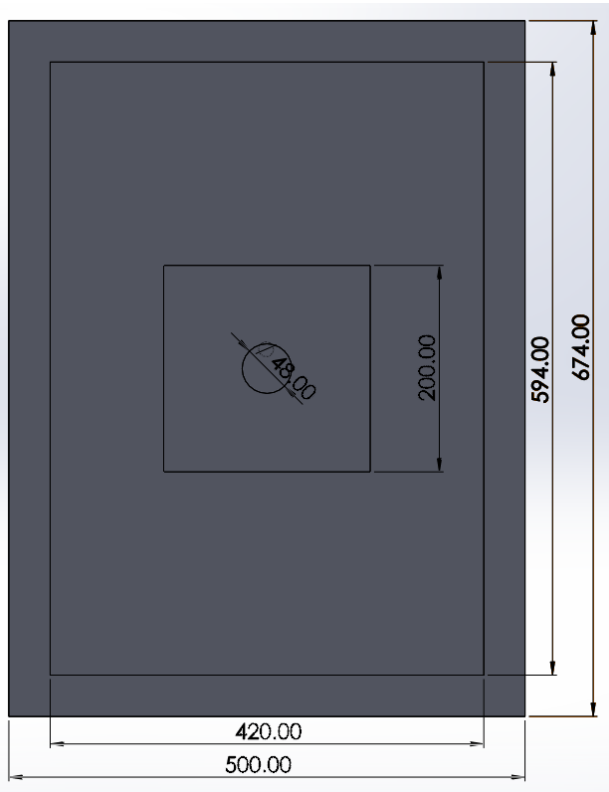
# Design Modifications derived from Topology Study

- Based on the design guide from the topology study, a design using layered plates was made
- Then a stress simulation was done on the design using 20 ton force

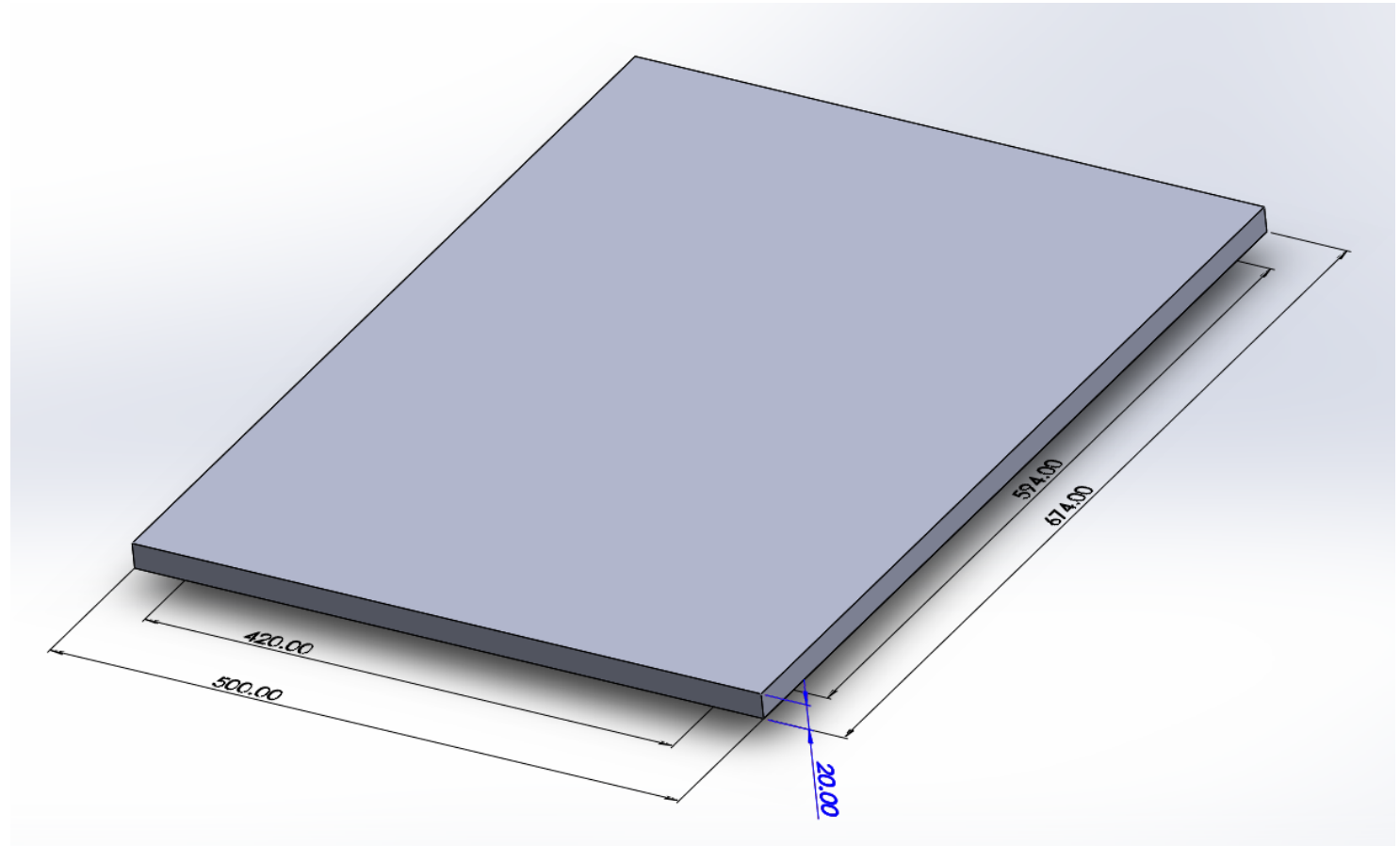
# Layered Plate Design



Front View



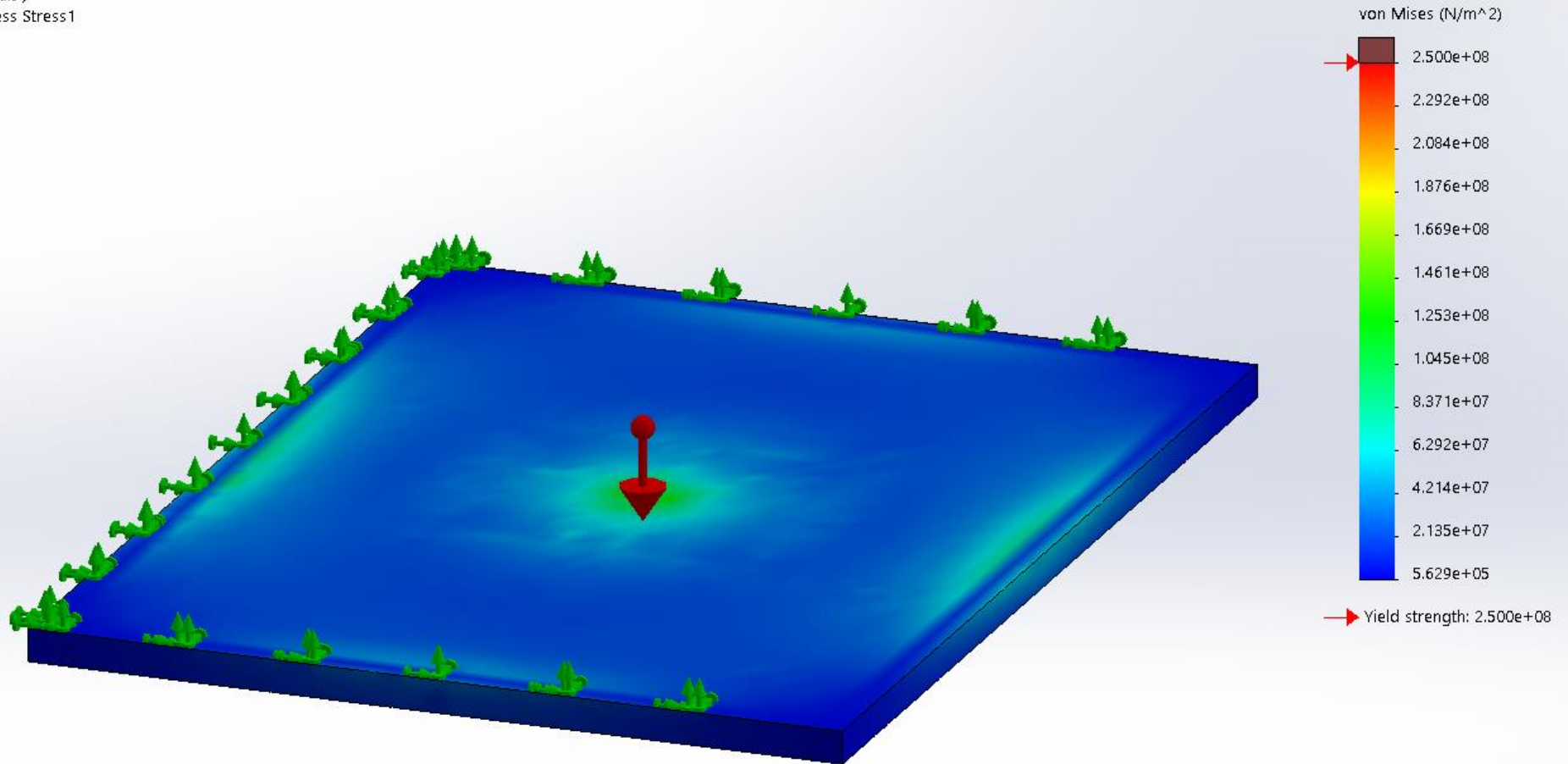
Bottom View



Perspective

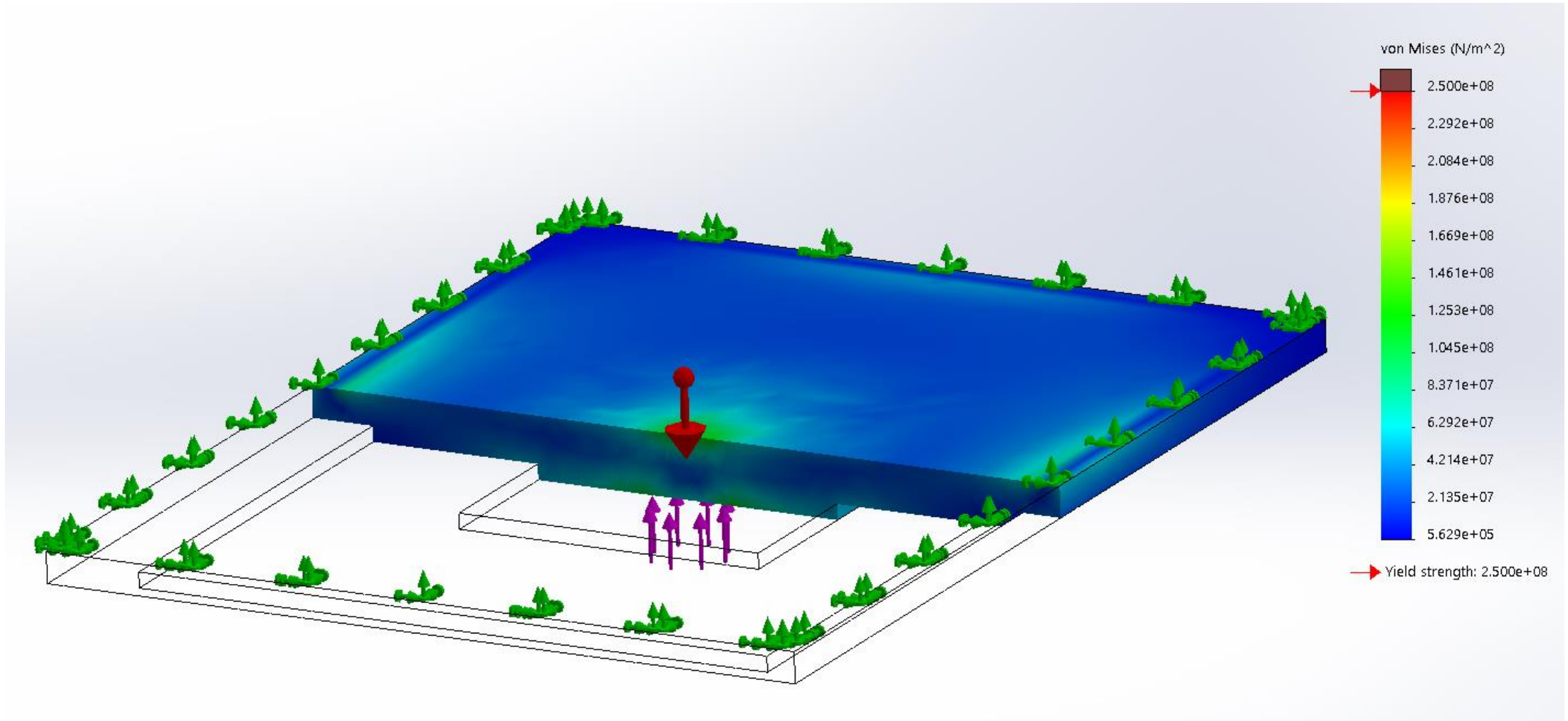
# Applying Stress Analysis on the Modified Design (Top)

Model name: heat plate cover topology study version 03  
Study name: Static 2(-Default-)  
Plot type: Static nodal stress Stress1





# Applying Stress Analysis on the Modified Design (Cross Section)

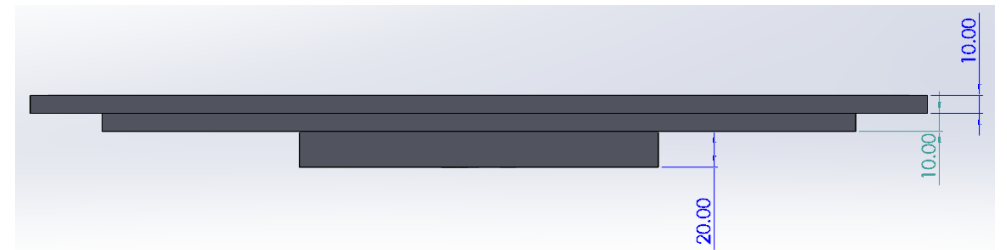


# Observations

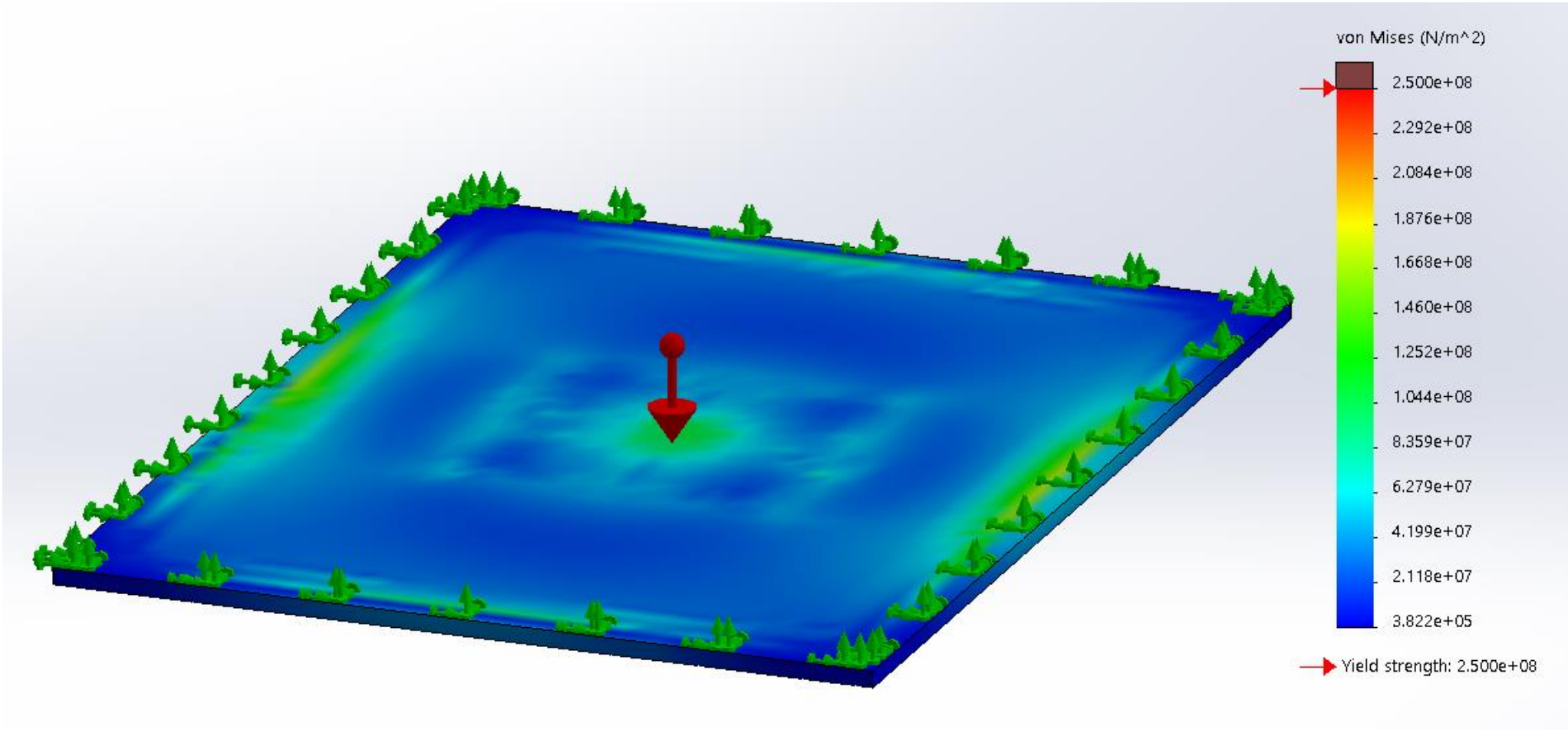
- The simulation results shows that the design do not let the materials exceed the yield strength.
- Evaluating the mass of the design gives a total mass of 9634.80 grams

# Further Modifications

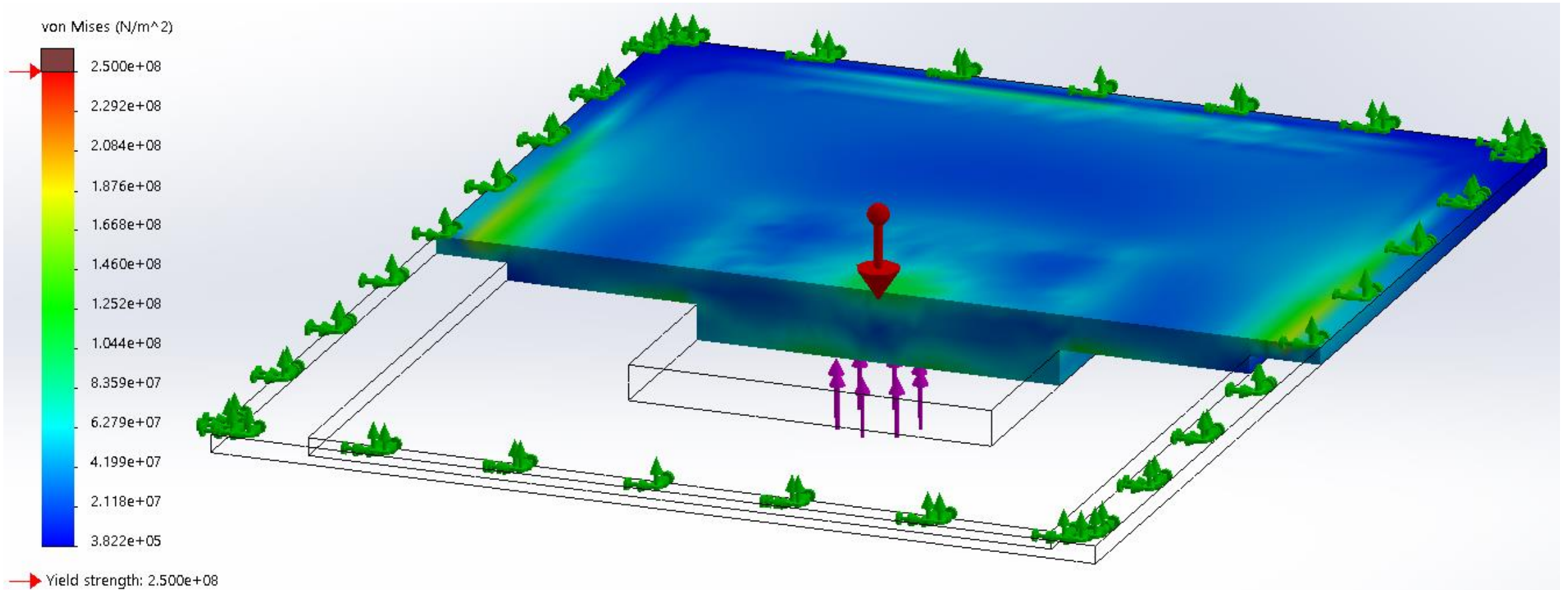
- To try to further reduce the mass while keeping the part from going beyond the yield strength, the top layer was reduced while the bottom layer was increased



# Stress Results of Further Modifications



# Stress Results of Further Modifications (Cross Section)





# Observations

- The design modification still gives satisfactory results as shown in the stress plot
- The evaluated mass after the modification is now 6705.30 grams

# ヒートプレスマシンの発煙にかかる状況・原因調査 最終報告書

2017年12月19日

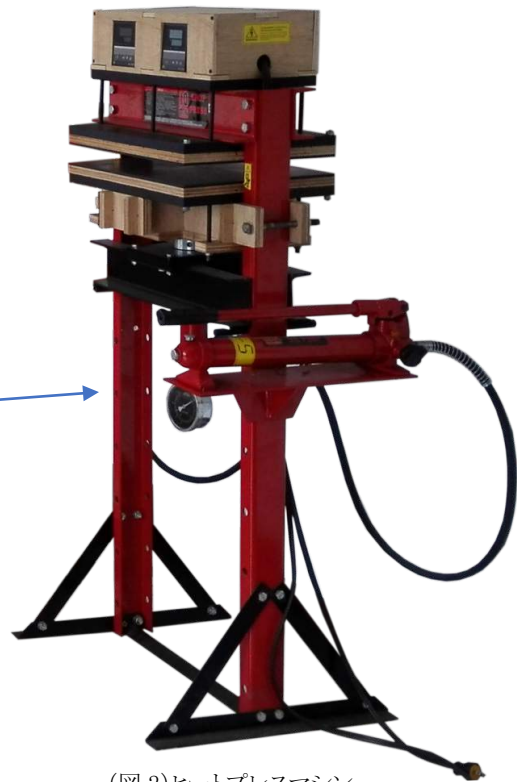
徳島 泰

## 1. 調査の経緯

比国貿易産業省ボホール支局(以下、DTI)とDTIに配属されていた高木元青年海外協力隊員が設計し、DTIが管理し、タグビラン市役所の予算にて執行されているプロジェクト(図1)において、DTIおよび菅野青年海外協力隊員によって運用されている、プラスチックリサイクル設備であるヒートプレスマシン(図2)について、ユーザーの女性からの「使用中に発煙があり心配している」という相談が、DTIに入った(伝聞のため、時期不明)。



(図1)DTIによるプロジェクトのポスター  
(慶應のロゴがなく関与がないことが解る)



(図2)ヒートプレスマシン

この相談を受け、DTIの上記プロジェクト担当者のジェローム・ガビン氏が、徳島がボホール島において独自研究資金により構成する現地研究チームに向けて、この原因を究明してほしいとの調査の依頼を行った(2017年10月下旬)。

上記ヒートプレスマシンの主設計者である上記高木元隊員は既に帰国してしまっており、この原因

<sup>1</sup> JICA ICT and Development, Plastic Up-Cycle by Heat Press Machine @ FabLab Bohol, <https://www.youtube.com/watch?v=kDmFIPYNfml&t=85s>, YouTube, 2016

究明調査ができるエンジニアリング人材が現地には見当たらなかった為、DTI ガビン氏が徳島チームに泣きついた形での依頼である。

徳島チームは、上記ヒートプレスマシンについては、直接的には設計・運用のいずれにも関与しておらず（現行バージョン以前の初期のプロトタイプにおいてのみ、徳島および現地エンジニアが設計支援・技術協力を行っていた）、設計内容も把握していなかったが、この依頼の“発煙”という状況を重く捉え、大きな事故が発生する前にユーザーの安全確保を行うべきであり、また、このような安全の確保のための原因究明は、現地では徳島チームにしか不可能であろうと判断し、ボランティアベースでこの依頼を引き受けた。

徳島チームはこの調査の開始に先駆けて、2017年11月7日にはDTI ガビン氏に、11月10日には菅野隊員に、現行ヒートプレスマシンの運用継続における危険性の説明を行って、一刻も早いユーザーの安全確保と即時の全台オペレーション停止、および即時の調査開始を願い出た。しかしながら、DTI・菅野隊員ともに、生産の必要性を理由にこれを無視（菅野隊員においてはこの時以降も個人的に新規注文を請けるなど）し、生産活動が継続された。

11月13日に徳島チームよりJICA フィリピン事務所の浅田様、武藤様に向けてEメールにて危険性をご進言させていただき、武藤様よりDTI ガビン氏に電話にてオペレーションの停止をお願いいただいた。この結果、11月20日頃(?)に生産活動が停止された。

11月23日にDTI ガビン氏より徳島チームに、現行ヒートプレスマシンの稼働が停止されていることが正式に知らされ、これを受けて11月27日より徳島チームによるヒートプレスマシンを解体しての、発煙の原因究明調査を開始した。本調査報告書は、この原因究明調査にかかる調査結果をまとめ、各ステイクホルダーに発煙の原因とヒートプレスマシンの状況を共有するためのものである。

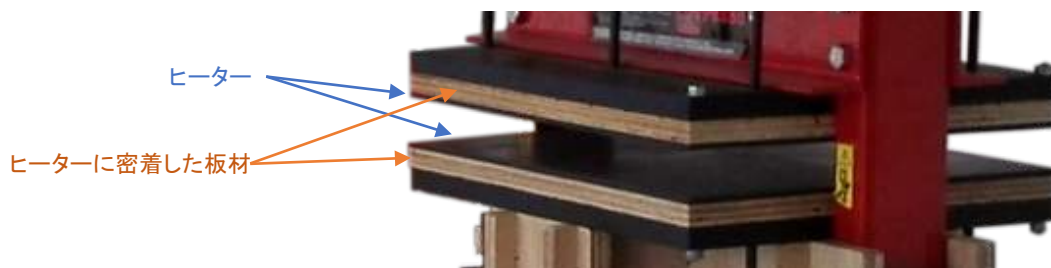
なお、発煙の発覚から現在におよび、本件にかかるケガ人等は、一切発生していない。

## 2. 調査結果の概要

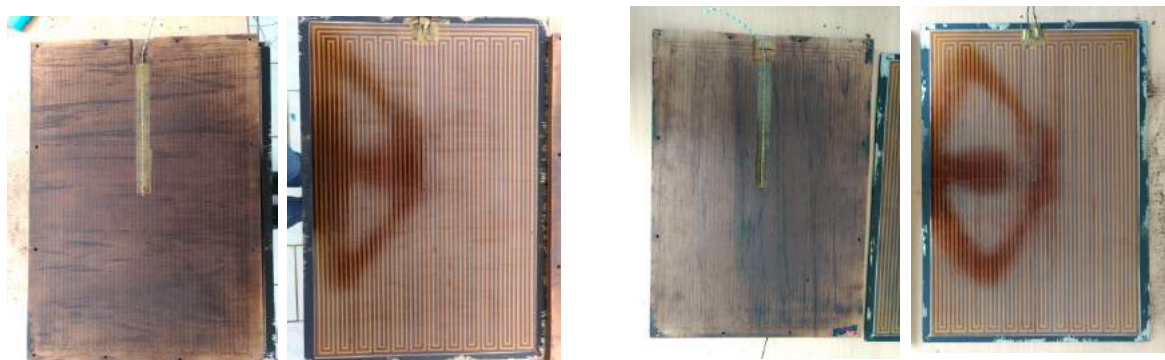
12月8日までに、以下の3つのバラングイに設置されている計7台のヒートプレスマシン全台を解体して、発煙の原因調査を行った。

- Cogon:3台
- Poblacion II :2台
- Dampas:2台

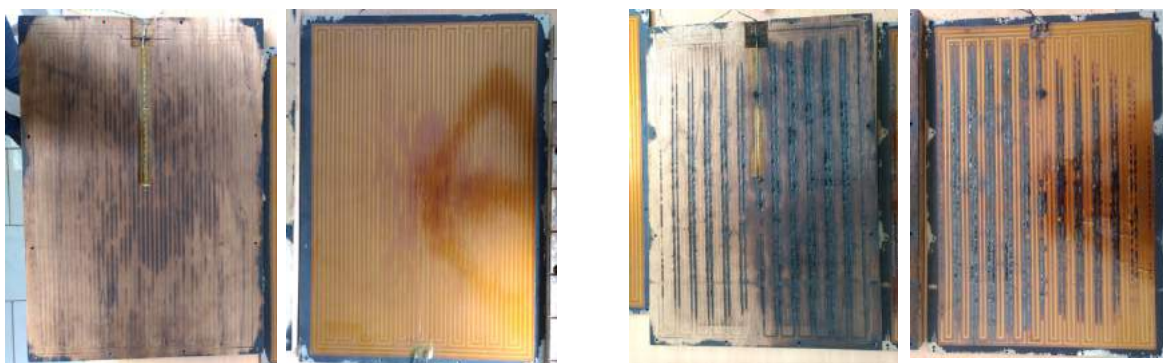
この調査では、解体初期段階で、ほぼ全台のヒーターおよびヒーターに密着した板材(図3)に、広範囲ないし程度の大きい炭化が認められた(図4~10)。



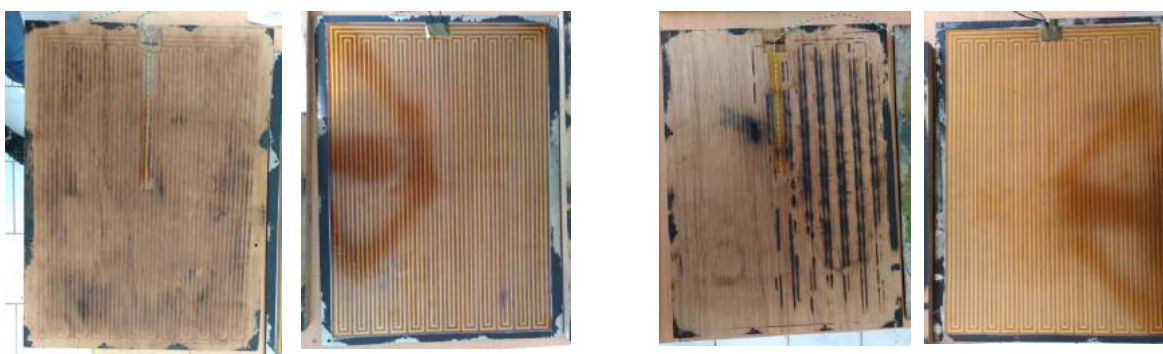
(図 3)ヒーターおよびヒーターに密着した板材



(図 4) Cogon 設置 1 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材 (上面:左、下面:右)



(図 5) Cogon 設置 2 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材 (上面:左、下面:右)



(図 6) Cogon 設置 3 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材 (上面:左、下面:右)





(図 7) Poblacion II 設置 1 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



(図 8) Poblacion II 設置 2 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



(図 9) Dampas 設置 1 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)



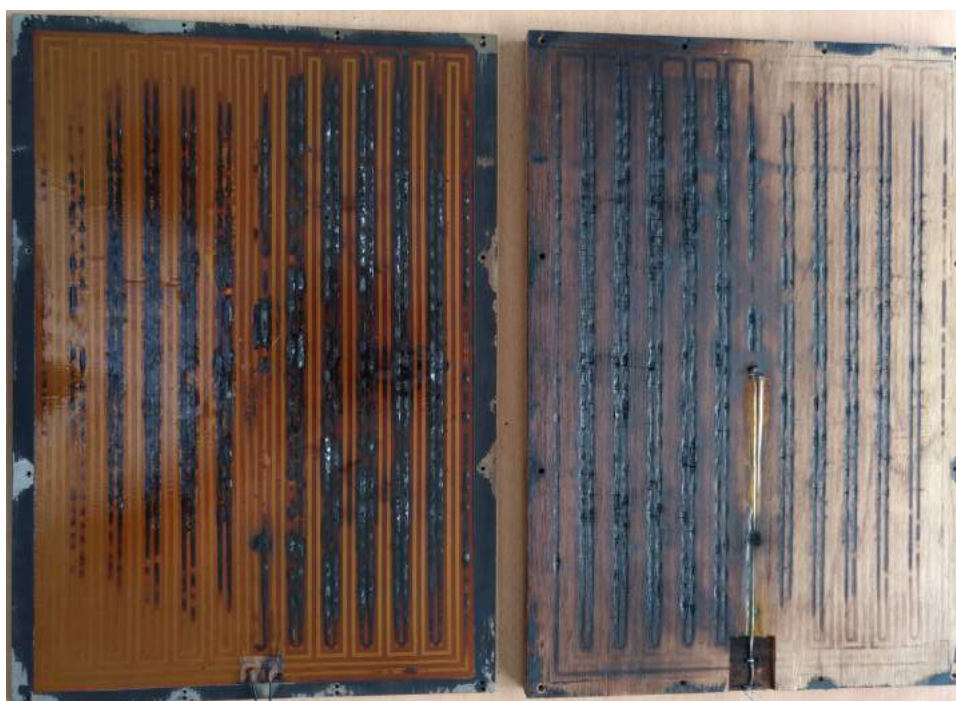
(図 10) Dampas 設置 2 号機のヒーターおよびヒーターに密着した板材(上面:左、下面:右)

このため、主たる発煙発生箇所は、主にこのヒーターおよびヒーターに密着した板材で間違いないものと断定して、発煙の原因を特定する調査を行うものとした。(図 4～10)の発煙箇所を詳細に観察し検査した結果、少なくとも以下の2種の様子を呈する焼け・焦げ跡が見られ、これら一方ないし両方の原因により、機体からの発煙があったことが明らであった。

- A. 局所的な焼け跡
- B. 広範囲における、焦げ・焼け



(図 11)A. 局所的な焼け跡



(図 12)B. 広範囲における、焦げ・焼け

上記 A については、約 43% (6/14)のヒーター・板材に見られた。  
上記 B については、約 79% (11/14)のヒーター・板材に見られた。



また、上記 A ないし B によって、ヒーターの熱線分が露出し、鉄板に接触し、鉄板に電源電圧である 220V(AC)が漏電していたと推測される損傷が見られた(図 13)



(図 13)ヒーター焦げ部:青○部は被覆が破れ熱線が露出。ヒート面の鉄板と接触し漏電していたことが推測される

このような漏電の可能性のある損傷が見られたヒーターは、全体の約 57%(8/14)であった。さらに、機種あたりでは、全台数の 71%(5/7 台)に漏電の可能性が見られた。

上記 A、B の発生、ないし漏電疑いの状況を、以下の表1にてまとめる。

(表1)各ヒートプレスマシンの損傷状況一覧

バランガイ	機体 番号	上面/ 下面	局所的な焼け (スパーク放電)	広範囲の焦げ・焼け (低温焦げ・焼け)	漏電の可能性
Cogon	1	上面	なし	✓	なし
		下面	なし	✓	なし
	2	上面	なし	✓	✓
		下面	✓	✓	✓
	3	上面	なし	✓	なし
		下面	✓	✓	✓
Poblacion II	1	上面	なし	△	なし
		下面	なし	✓	✓
	2	上面	✓	△	なし
		下面	✓	△	✓
Dampas	1	上面	✓	なし	✓
		下面	なし	✓	△
	2	上面	なし	なし	なし
		下面	✓	なし	✓

全てのヒートプレスマシンにおいて何らかの損傷が認められ、いつ感電や火災などの事故があってもおかしくないような状況であったと言える。

本調査報告書では、次章の「3.発生原因」にて、なぜこのような「A. 局所的な焼け跡」および「B. 広範囲における、焦げ・焼け」またそれにもなう漏電の可能性が発生したか、その原因を明らかにする。またその他、上記「A. 局所的な焼け跡」および「B. 広範囲における、焦げ・焼け」の直接の原因ではないが、今回の発煙それ自体の直接的・間接的な原因となったと考えられる、その他の要因・要素について、「4.その他危険要素」において報告する。

その上で、「5. 今後求められる対策」において、このような問題を発生させないために考えられる対策について提案し、「6.まとめ」にて総括を報告するものとする。

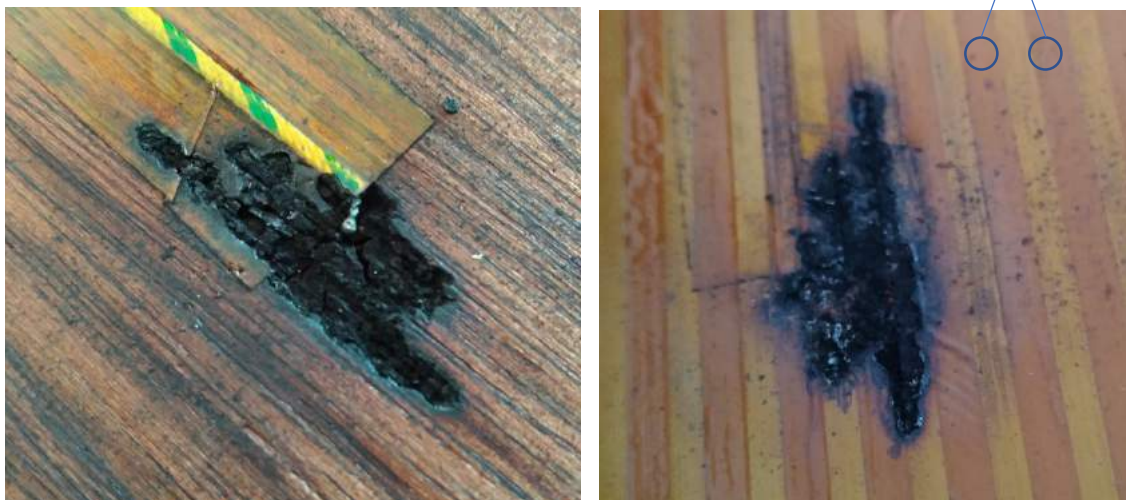
### 3. 発生原因

#### 3-1. A(局所的な焼け跡)の発生原因

##### 3-1-1. 発生原理(メカニズム)

A(局所的な焼け跡)に関しては、図 14 の写真からも明らかのように、ごく狭い範囲に深い焦げ跡が残っていることから、周囲の広い範囲に熱伝搬しない/できないような、ごく短時間において、局所的に非常に高い温度が発生したものと考えられる。このような短時間かつ高温の発熱として最も疑われるのは、スパーク等の放電である。

熱線(=電極)の空間距離は常に 4mm 以上開いている



(図 14) Poblacion II 設置 2 号機上面のヒーターおよびヒーターに密着した板材にそれぞれ残ったスパークの跡

スパーク等の放電は、電位差のある電極同士が気体を介して近距離に存在することで発生する。現行ヒートプレスマシンの内部環境でそのような状況が発生するのは、ポリイミドヒーターの被覆が傷ついて穴が開き、ポリイミドヒーター内の熱線(AC-220V)と、ポリイミドヒーターと密着する鉄板(グラウンド)との間に絶縁体がなくなった上での短絡であろうことは容易に特定されよう。

なお、現行ヒートプレスマシンのポリイミドヒーターでは、熱線(=電極)の空間距離は常に 4mm 以上開いた設計となっている(図 14)。これは国際安全規格の「IEC 60950 Table 2H」に定められた強化絶縁距離(=4mm)に相当するため、ヒーターの極間における放電はほぼ発生しないと考えられる。<sup>2</sup> なお、木材の引火温度(口火がある場合)は 240℃～280℃以上とされており、また発火のためには温度にもよるがおおよそ 10 数秒以上の連続した加熱が必要であるとされている<sup>3</sup>。この図 14 およ

<sup>2</sup> IEC 60950 Table 2H に基づく最小空間距離の規定の例 <http://t-sato.in.coocan.jp/terms/iec950-table2h.html>

<sup>3</sup> 原田寿郎, 木材の燃焼性および耐火性能に関する研究, 森林総研研報, pp1-81,  
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/kanko/378-1.pdf>

びその他の“局所的な焼け跡”においても、引火が起こった形跡はないため、長期的な短絡ではなく、瞬間的ないしごく短時間のスパーク等の放電であったと推測され、よって、火災を招く大きな危険を伴うものではなかったと考えられよう。

このような放電現象が発生した原因として考えられる問題は、より具体的には以下の 3-1-1 から 3-1-3 の、3 点であったと考えられる(複数が同時に原因となったことも考えられる)。

どれも組立時の取扱い・作業が、非常に粗く、雑であったことより起こった、組立不良に起因するものであると推測される。

### 3-1-1. 具体的な発生原因-1: センサの取り付け方法に起因する被覆の破れ

これを裏付けるのが図 15 ないし図 16 の写真である。

図 15 の写真は、熱電対温度センサの先端部であるが、温度センシングを精緻にするために、センサ格納のために板材に掘られた溝から温度センサ先端部のみを外に露出させて鉄板と密着させるアセンブリとなっている。これによりセンサ先端部がヒーターの熱線の上にまではみ出し、この状態で鉄板と合板が密着して圧力がかかったことで、ヒーターの熱線の上の被覆に傷がついてしまい、結果としてスパークを起こしてしまったことが容易に推測できる。

また図 16 の写真は熱電対温度センサ周りの中伏部である。図 16 に見られるスパーク跡は、図 17 の写真のようにタッカー(建築用ホチキス)を用いて、温度センサが固定されていた箇所に見られた(図 17 は損傷が少なかった他機体の板材)。ホチキスの針が露出した状態のまま、鉄板と合板が密着して圧力がかかっていたことにより、熱線の上の被覆に傷をつけることとなり、結果スパークを起こしてしまったことが容易に推測できる。



(図 15) センサで傷ついて発生した  
スパークの跡



(図 16) 建築用ホチキスで傷ついて発生したスパークの跡  
(左:ヒーター側、右:板材側)



(図 17) タッカー(建築用ホチキス)での乱暴な取り付けによる熱電対温度センサ



### 3-1-2. 具体的な発生原因 2:組み立ての雑さに起因する傷の発生による被覆の破れ

図 18 では、上記と同じく放電による焼けであることはほぼ間違いがないが、焼け跡の位置から考えて、熱電対温度センサやタッカー（建築用ホチキス）によってつけられた傷ではありえない。しかし、ポリイミドヒーターの被覆が傷ついて穴が開いたことで発生したもので間違いはない。ヒーター側のスパーク部（図 18 の右側）をよく観察すると、引っかき傷のようなものの跡が見えることから、これは、アセンブリ時の粗雑な扱いで傷がついたか、アセンブリ時にゴミ等が混入し、その上でプレス圧がかかったなどで皮膜が破れ、放電に繋がったことが想定される。



(図 18)アセンブリ時の粗雑な扱いで傷がついたことで発生したと思われるスパーク跡(左:板材側 右:ヒーター側)

### 3-1-3. 具体的な発生原因 3:部品製作の雑さに起因するバリの発生による被覆の破れ

さらに、図 19 の写真では、放電は起こってはいないが、ヒーターに局所的な発熱を想起させる焦げが見られた。このまま稼働が続けられれば焦げから起こる被覆の穴が発生し、ここから放電が起こっていたであろうことが容易に想像出来る。この箇所ではこのヒーターの焦げ部と密着している箇所木材に、切削加工時に発生したと思われるバリがあった(図 19)。このバリがヒーターに過度で局所的な圧力を発生させ、熱線の断面積を多少なりとも変化させるなどして熱だまりを発生させるなどしてヒーターに偏った熱負荷を生じさせていたことが考えられる。



(図 19)組立時に発生したバリと、バリにより引き起こされたヒーターの焦げ



### 3-2. B(広範囲における、焦げ・焼け)の発生原因

#### 3-2-1. 発生原理(メカニズム)

B(広範囲における、焦げ、焼け)に関しては、図 10 および図 11 において明らかなように、広い範囲におおよそ均一な焦げ跡が残っていることから、ヒーター全体が高温となっていたものと考えられる。

このため、以下の B-1～B-7B の 8 つのような異常動作により、ヒーターが設定温度以上となっていたことが疑われた。



(図 20) 広い範囲のおおよそ均一な焦げ跡

B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走

B-2. サーモスタット(温度コントローラー)が故障したことによる熱暴走

B-3. SSR(ソリッド・ステート・リレー)が故障したことによる熱暴走

B-4. タッカー(建築用ホチキス)の使用に起因する異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力

B-5. プレス圧力による熱電対温度センサの異常値の出力

B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力

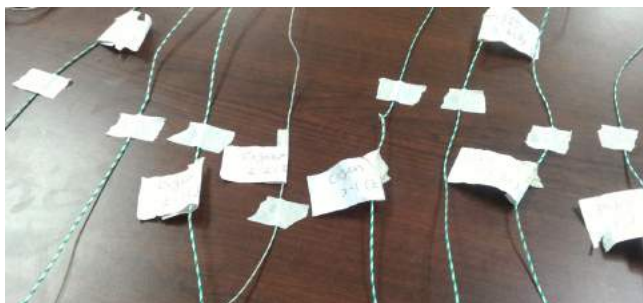
B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかった

B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサが異常値を出力

以下より、上記 B-1～B-7B に対する検証実験の内容とその結果について説明・報告する。

#### B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走についての検証実験

Cogon(3 台)、Poblacion II(2 台)、Dampas(2 台)のヒートプレスマシンより、上下面のヒーター制御用にそれぞれ 2 本設置されている熱電対温度センサを全て回収し、熱電対温度センサの故障があるかどうか、全数において動作確認を行った(図 21)。



(図 21) 現行ヒートプレスマシンより回収された熱電対温度センサ群

実験の概要は、回収した 14 本の熱電対温度センサを、現行ヒートプレスマシンに用いられているも

のと同機種のサーモスタット(RKC 社製の REX-C900)の新品と接続し、以下の 4 ポイントの温度を測定することで、これら温度が正確に測定できているかの実験を行ったというものである。

- ・ 27℃(室温)
- ・ 50℃の鉄板
- ・ 100℃の鉄板
- ・ 150℃の鉄板

実験環境として、50℃、100℃、150℃の鉄板は、TIFAL 社製の調理用ホットプレートを、上記と同じ新品のサーモスタットおよび新品の熱電対温度センサを用いて制御することで構成した(図 22)。



(図 22) 実験環境の構成

なお、上記の 4 ポイントの各温度が正確に測れているかの基準として、以下の 4 つの基準機により同時測定を行うことで、正確性を担保した。

- ・ A&D 社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による鉄板表面の非接触測定
- ・ BENETECH 社製の赤外線温度センサ GM300 による鉄板表面の非接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同製品かつ新品のサーモスタットおよび熱電対温度センサ(以下、表 2 中のベースラインの A: 現行ヒートプレスマシンと同設定)による鉄板表面の温度の接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同等品質のコンパチブル品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表 2 中のベースラインの B: 現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による鉄板表面の温度の接触測定

以下の表 2 が上記「**B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走**」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表 2)「B-1. 熱電対温度センサが故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果

			27℃ (室温)	50℃	100℃	150℃
赤外線温度 センサ	A&D 社	A&D-5617	-	50	100	150
	BENETE CH 社	GM300	26-27 (中央値: 26.5)	50-52 (中央値: 51)	99-100 (中央値: 99.5)	154
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	25-26 (中央値: 25.5)	49-53 (中央値: 51)	99-106 (中央値: 102.5)	150-153 (中央値: 151.5)
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	24-27 (中央値: 25.5)	49-51 (中央値: 50)	100-104 (中央値: 102)	153-155 (中央値: 154)
Cogon	1	上面	25	50	100	150
		下面	25	51	105	150
	2	上面	23	52	104	151
		下面	24	51	101	150
	3	上面	25	52	103	150
		下面	24	52	103	150
Poblacion II	1	上面	24	49	101	151
		下面	23	49	104	150
	2	上面	23	50	103	150
		下面	25	49	101	150
Dampas	1	上面	24	50	102	150
		下面	25	50	102	151
	2	上面	24	50	100	150
		下面	23	51	101	151

上記の表 2 から明らかなように、バランガイに設置された熱電対温度センサは全数において、4 ポイント全てにおいて正確な数字を出力し、問題なく動作しており、一切の故障等は見られなかった。  
このことより、熱電対温度センサに起因した熱暴走があったことは非常に考えにくい。

これら熱電対温度センサが、実際のアセンブリではタッカー（建築用ホチキス）により乱暴に取り付けられ、また途中で絡まるなど手荒な扱いを受け、かつ実使用中には 0.7MPa の加重を、繰り返しかつ長時間受けていたことを考えれば、現行ヒートプレスマシンに用いられているものは、非常に信頼性の高い熱電対温度センサであると言える。

## B-2. サーモスタットが故障したことによる熱暴走についての検証実験

Cogon (3 台)、Poblacion II (2 台)、Dampas (2 台) のヒートプレスマシンより、それぞれ上下面のヒーター制御用に 2 台設置されているサーモスタットを全て回収し、サーモスタットの故障があるかどうか、全数において動作確認を行った。

実験の概要は、回収してきた 14 台のサーモスタットを、現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同製品かつ新品の熱電対温度センサに繋ぎ、以下の 3 ポイントの温度を測定し、これら温度が

正確に測定できているかの実験を行ったというものである。

- ・ 室温
- ・ 10℃の冷水(降温)
- ・ 30℃の人差し指の表面温度(昇温)

なお、本実験中は、サーモスタットのアラームの設定温度を 30℃に設定することで、上記の「30℃の人差し指の表面温度(昇温)」の測定時に、正確にアラームが表示されるか(現行ヒートプレスマシンにはスピーカーは接続されていないため、アラームとはインジケーターが点滅表示されるのみで、警報音等は発しない)の確認を行った。

なお、上記の 3 ポイントの各温度が正確に測れているかの基準として以下の 4 つの基準機により同時測定を行うことで、正確性を担保した(図 23)。

- ・ A&D 社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による各温度の非接触測定
- ・ BENETECH 社製の赤外線温度センサ GM300 による各温度の非接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットおよび熱電対温度センサ(以下、表 3 中のベースラインの A:現行ヒートプレスマシンと同設定)による各温度の接触測定
- ・ 現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同等品質のコンパチブル品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表 3 中のベースラインの B:現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による各温度の接触測定



(図 23) 実験環境の構成

以下の表 3 が上記「B-2. サーモスタットが故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表 3)「B-2. サーモスタットが故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果

			23℃(室温)	10℃(10℃の冷水)	30℃(人差し指の表面) +アラーム動作確認
赤外線温度 センサ	A&D 社	A&D-5617	25	10	31
	BENETECH 社	GM300	24	10	30
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	23-24 (中央値: 23.5)	10	30 +アラーム動作 OK
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	21-22 (中央値: 21.5)	10	30 +アラーム動作 OK
Cogon	1	上面	25	11	30 +アラーム動作 OK
		下面	25	11	31 +アラーム動作 OK
	2	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	23	10	30 +アラーム動作 OK
	3	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	24	10	30 +アラーム動作 OK
Poblacion II	1	上面	23	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	23	10	30 +アラーム動作 OK
	2	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	22	10	30 +アラーム動作 OK
Dampas	1	上面	23	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	23	10	30 +アラーム動作 OK
	2	上面	22	10	30 +アラーム動作 OK
		下面	24	10	30 +アラーム動作 OK

上記の表 3 から明らかなように、バラングイに設置されたヒートプレスマシンに使用されていたサーモスタット全数は、3 ポイントの測定の全てにおいて正確な数字を出力し、問題なく動作しており、一切の故障等は見られなかった。このことより、サーモスタットに起因した熱暴走があったことは非常に考えにくい。

これら熱電対温度センサが、実際の使用環境では海辺の窓が壊れた部屋(図 24)などに無造作に設置されており(図 25)、かつメンテナンスを受けないなどの手荒な扱いを受け、かつ実使用中にスパイクノイズなども頻発するフィリピンのルーラルエリアの電源環境で長時間使われていたことを考えれば、現行品に用いられているものは、非常に信頼性の高いサーモスタットであると言える。



(図 24) Poblacion II における実際の使用環境 1



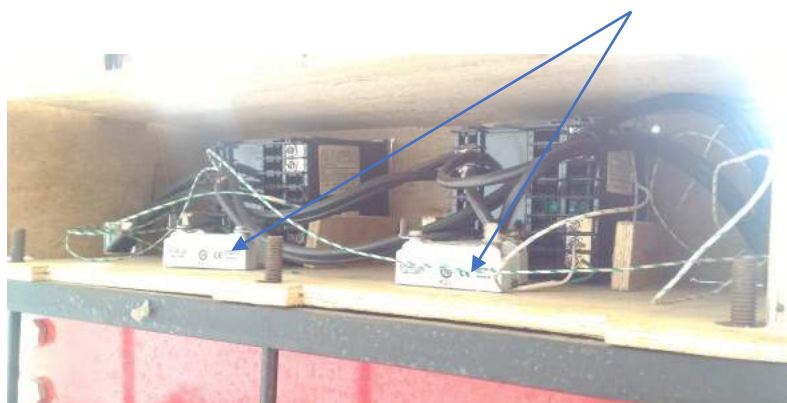


(図 25) Poblacion II における実際の使用環境 2

### B-3. SSR が故障したことによる熱暴走についての検証実験

Cogon(3 台)、Poblacion II(2 台)、Dampas(2 台)のヒートプレスマシンより、それぞれ上下面のヒーター制御用に設置されている SSR(図 26)を全て回収し、故障があるかどうか、全数において動作確認を行った。

SSR(サーモスタットの裏側に設置)



(図 26) 現行ヒートプレスマシンに設置されている SSR

実験は、SSR の動作を検査するために、以下の 2 つのパラメータを得るテストを行うものとした。

- (1) SSR が起動するかどうか(電圧印加時に SSR 自体がオンになること)
- (2) 出力(OutPut)が正常に機能しているかどうか(電圧印加時に、load/light/appliance がオンになること)

上記(1)および(2)について確認を行うために、より具体的には、以下の手順にて実験を行った。

### (1) SSR が起動する(電圧印加時に SSR 自体がオンになる)ことの確認手順

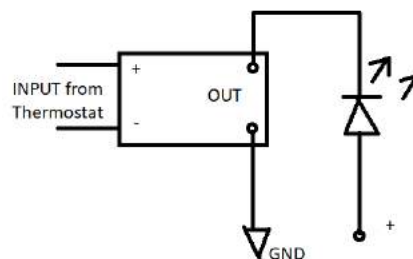
SSR は定格電圧の入力時には、正常動作を示す緑色のインジゲーターが点灯するはずなので、インプット端子に定格電圧の DC12V を印加して、インジゲーターの点灯を確認した(図 27)。



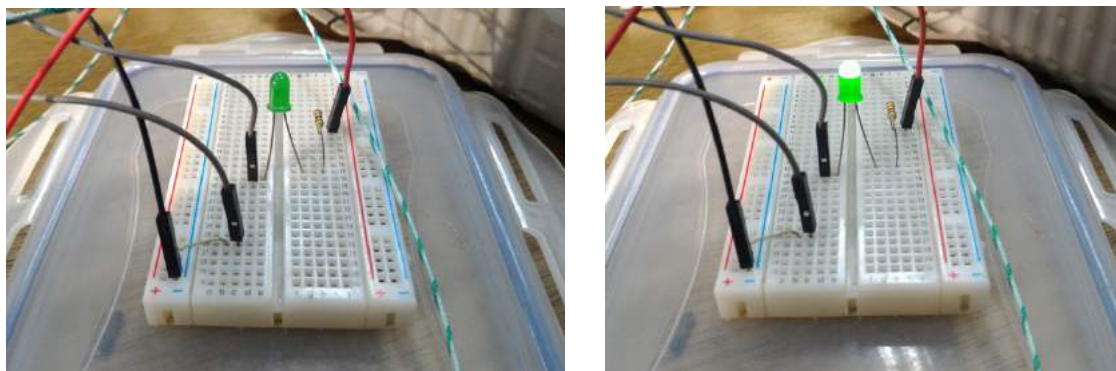
(図 27) SSR の起動実験の様子

### (2) 出力(OutPut)が正常に機能している(電圧印加時に、load/light/appliance がオンになる)ことの確認手順

SSR の出力に以下の回路(図 28)のアウトプット側に、load/light/appliance に接続される負荷として LED を接続し、サーモスタット側(入力側)から SSR のオン信号が入力された場合に、この LED が点灯するかどうか確認した(図 29)



(図 28) SSR の出力機能の検証のための実験回路図



(図 29) SSR の出力機能の検証のための実験の様子

以下の表 4 が、上記「B-3. SSR が故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表 4)「B-3. SSR が故障したことによる熱暴走」の可能性の検証にかかる実験の結果

バランガイ	機体番号	上面/下面	実験(1) 起動テスト	実験(2) 出力テスト
Cogon	1	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	2	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	3	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
Poblacion II	1	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	2	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
Dampas	1	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)
	2	上面	✓(点灯)	✓(点灯)
		下面	✓(点灯)	✓(点灯)

上記の表 3 から明らかなように、バランガイに設置されたヒートプレスマシンに内蔵された SSR は全数において、問題なく動作しており、一切の故障等は見られなかった。このことより、SSR に起因した熱暴走があったことは非常に考えにくい。

これら SSR が、実際の使用環境ではサーモスタットと同様に無造作に設置されて手荒な扱いを受け、かつ実使用中にもスパイクノイズなども頻発するフィリピンのルーラルエリアの電源環境で長時間使われていたことを考えれば、現行ヒートプレスマシンに用いられている SSR は、非常に信頼性の高いものであると言えるだろう。

#### B-4. タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力についての検証実験

Cogon(3台)、Poblacion II(2台)、Dampas(2台)のヒートプレスより回収した14本の熱電対温度センサにおける、現行のヒートプレスマシンへのアセンブリに関して、複数台において見られた**タッカー(建築用ホチキス)**を用いた木材への乱暴な固定(図 17:再掲)が焦げや焼けに影響を及ぼしたかどうかの検証を行った。



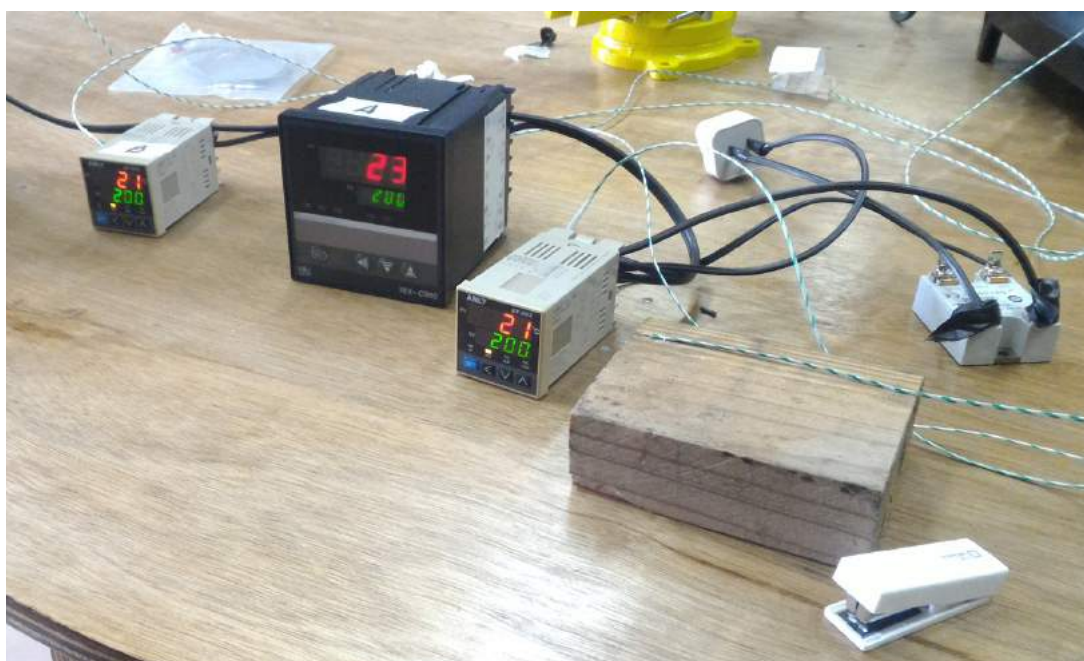
(図 17)タッカー(建築用ホチキス)での乱暴な取り付けによる熱電対温度センサ(再掲)



実験の概要: 回収してきた14本の熱電対温度センサを、現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットに接続し、以下の異なる3条件下で熱電対温度センサの温度をそれぞれ測定(対象は室温)し、これら温度が正確に測定できているかの実験を行った。

- ・ ホチキス止め(圧力)なし
- ・ 木材へのホチキス止め(圧力) x 1箇所
- ・ 木材へのホチキス止め(圧力) x 2箇所

なお、本実験に用いたホチキスは文房具用のものであるため、タッカー(建築用ホチキス)よりも加えられる圧力、また針のサイズともに小さく、簡易実験として考えられたい(図30)。



(図30) 実験環境の構成

なお、上記の3条件下の各温度が正確に測れているかの基準として、以下の4つの基準機による同時測定を行うことで、正確性を担保した。

- ・ A&D社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による鉄板表面の非接触測定
- ・ BENETECH社製の赤外線温度センサ GM300 による鉄板表面の非接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表5中のベースラインのA: 現行ヒートプレスマシンと同設定)による鉄板表面の温度の接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同等品質のコンパチブル品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表5中のベースラインのB: 現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による鉄板表面の温度の接触測定

以下の表 5 が上記「B-4. タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表 5)「B-4. タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力」  
の可能性の検証にかかる実験の結果

			ホチキス止め 圧力なし(=室温)	ホチキス止め 圧力 x 1箇所	ホチキス止め 圧力 x 2箇所
赤外線温度センサ	A&D 社	A&D-5617	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)
	BENETECH 社	GM300	22-23 (中央値: 22.5)	22-23 (中央値: 22.5)	22-23 (中央値: 22.5)
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	22-24 (中央値: 23)	22-24 (中央値: 23)	22-24 (中央値: 23)
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)	21-22 (中央値: 21.5)
Cogon	1	上面	22	22	22
		下面	22	22	22
	2	上面	22	22	22
		下面	22	22	22
	3	上面	22	22	22
		下面	23	22	22
Poblacion II	1	上面	22	22	22
		下面	22	22	22
	2	上面	21	22	22
		下面	21	21	21
Dampas	1	上面	21	21	21
		下面	21	21	21
	2	上面	22	21	21
		下面	21	21	21

上記の表 5 から明らかなように、熱電対温度センサはホチキスの圧力の有無に関わらず、どちらの条件下でも全く同様の正確な数字を出力し、ホチキスの異常圧力下でも問題なく動作していることがわかる。従って、タッカー(建築用ホチキス)の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力があったことは非常に考えにくい。

このような粗雑な扱いにも関わらず正確なパラメータを出力し、問題なく動作していることを鑑みれば、本熱電対温度センサは非常に信頼性の高い熱電対温度センサであると言える。

#### B-5. プレス圧力によって熱電対温度センサの異常値の出力についての検証実験

Cogon(3台)、Poblacion II(2台)、Dampas(2台)のヒートプレスマシンより回収した14本の熱電対温度センサにおける、現行ヒートプレスマシンへのアセンブリに関して、複数台にて見られた、以下



のケースにおいて、プレスによる圧力が温度センシングに影響したかどうかの検証を行った。

- ・ 熱電対の格納溝が、熱電対温度センサの直径より浅く掘られていることによって、熱電対温度センサにプレス圧がかかってしまっているケース(図 31)
- ・ 温度センシングを精緻にするために、センサ格納のために板材に掘られた溝から温度センサ先端部を外に露出させて鉄板と密着させるアセンブリとなっており、センサ先端部がヒーターの熱線の上にまではみ出してしまったことで、この状態で鉄板と合板が密着して圧力がかかってしまっているケース(図 32)



(図 31) 熱電対温度センサの全体にプレス圧がかかって扁平型となっている



(図 32) センサ先端部がヒーターの熱線の上にまではみ出している状態で鉄板と合板が密着して圧力がかかってしまっている

実験の概要: 回収してきた14本の熱電対温度センサを、現行ヒートプレスマシンに用いられているものと同機種かつ新品のサーモスタットに接続し、以下の異なる3条件下で熱電対温度センサのそれぞれ温度を測定(対象は室温)し、これらの温度が正確に測定できているかの実験を行った。

- ・ 圧力なしの状態
- ・ 万力で腹部へ圧力をかけた状態
- ・ 万力で先端部へ圧力をかけた状態

なお、本実験では、圧力をかけるためのツールとして万力を用いることとした。万力による圧力は、現行ヒートプレスマシンで用いられる油圧プレスによる圧力よりも比較的小さくなるため、簡易実験として考えられた(図 33)。



(図 33) 実験環境の構成

なお、上記の3条件下の各温度が正確に測れているかの基準として、以下の4つの基準機による同時測定を行うことで、正確性を担保した。

- ・ A&D 社製の赤外線温度センサ A&D-5617 による鉄板表面の非接触測定
- ・ BENETECH 社製の赤外線温度センサ GM300 による鉄板表面の非接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと機種かつ新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表6中のベースラインのA:現行ヒートプレスマシンと同設定)による鉄板表面の温度の接触測定
- ・ 現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同品質のコンパクト品の新品のサーモスタットと熱電対温度センサ(以下、表6中のベースラインのB:現行ヒートプレスマシンと異なる設定)による鉄板表面の温度の接触測定

以下の表6が上記「プレス圧力によって熱電対温度センサの異常値の出力」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表6)「B-5. プレス圧力によって熱電対温度センサの異常値の出力」の可能性の検証にかかる実験の結果

			圧力なし (鉄の温度=室温)	万力による 腹部へ圧力	万力による 先端部へ圧力
赤外線温度センサ	A&D 社	A&D-5617	25-26 (中央値: 25.5)	25-26 (中央値: 25.5)	25-26 (中央値: 25.5)
	BENETECH 社	GM300	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)
ベースライン	A	現行ヒートプレス マシンと同設定	25-27 (中央値: 26)	25-27 (中央値: 26)	25-27 (中央値: 26)
	B	現行ヒートプレス マシンと異なる設定	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)	24-25 (中央値: 24.5)
Cogon	1	上面	25	25	25
		下面	25	25	25
	2	上面	26	26	25
		下面	25	25	25
	3	上面	25	25	25
		下面	25	25	25
Poblacion II	1	上面	25	25	25
		下面	25	25	25
	2	上面	25	25	25
		下面	24	25	25
Dampas	1	上面	25	25	26
		下面	25	26	26
	2	上面	25	25	26
		下面	25	26	26

上記の表 6 から明らかなように、熱電対温度センサはプレス機の圧力がある/なしのどちらの条件下でも、また、圧力のかかる箇所にも関わらず、全く同様の正確な数字を出力しており、プレス機の異常圧力下でも問題なく動作していることがわかる。このことより、プレス機の異常圧力の発生による熱電対温度センサの異常値の出力があったことは非常に考えにくい。

このような粗雑な扱いにも関わらず正確なパラメータを出力し、問題なく動作することを鑑みれば、本熱電対温度センサは非常に信頼性の高い熱電対温度センサであると言える。

#### B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力した可能性の検証実験

Cogon (3 台)、Poblacion II (2 台)、Dampas (2 台) のヒートプレスマシンより回収した 14 本の熱電対温度センサにおける現行ヒートプレスマシンへのアセンブリに関して、複数台において見られた、熱電対温度センサがカプトンテープによって隠れてしまっており、直接ヒーターないし鉄板に接していないアセンブリ(図 34)の影響により、熱電対温度センサが異常値を出力した可能性がなかったかの検証を行った。



(図 34)熱電対温度センサがカプトンテープによって隠れてしまっており、  
直接ヒーターないし鉄板に接していないアセンブリ

また上記の検証実験と同時に、現行ヒートプレスマシンに共通した、“本来は鉄板温度を測らなければならないところ、略式として鉄板に密着して接着したポリイミドヒーターの表面を測定することで、これに替える”という基本設計によるアセンブリに対して、ポリイミドヒーターの断熱性により正確に温度が測れていない可能性の検証も同時に行った。

実験の概要：現行のヒートプレスマシンに用いられているものと同機種種の熱電対温度センサの新品 3 本を用い、以下の異なる 3 条件下で、

- ・ 鉄板に熱電対センサを直接接触させて温度を測定したもの
- ・ 鉄板にカプトンテープを接着させた上で、同テープの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したもの
- ・ 鉄板にポリイミドヒーター(現行品と同じもの)を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したもの

それぞれ以下の 5 ポイントにて温度を測定したというものである。

- ・ 75℃
- ・ 100℃
- ・ 125℃
- ・ 150℃
- ・ 175℃

実験環境としての鉄板は、TIFAL 社製の調理用ホットプレートを新品のサーモスタット、および新品の熱電対温度センサを用いて制御することにより構成した。

なお、本実験において、鉄板に熱電対センサを直接接触させて温度を測定したもの、および鉄板にカプトンテープを接着させた上で、同テープの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものの 2 つの条件下の実験では、現行のヒートプレスマシンに用いられるサーモスタットと同機種のものを用いた。また鉄板にポリイミドヒーター（現行品と同じもの）を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものの条件下の実験では、同等他者製品を用いた。従って、上記 3 条件は厳密には同条件での比較ではない。このため、本実験は簡易実験として考えられたい(図 35)。



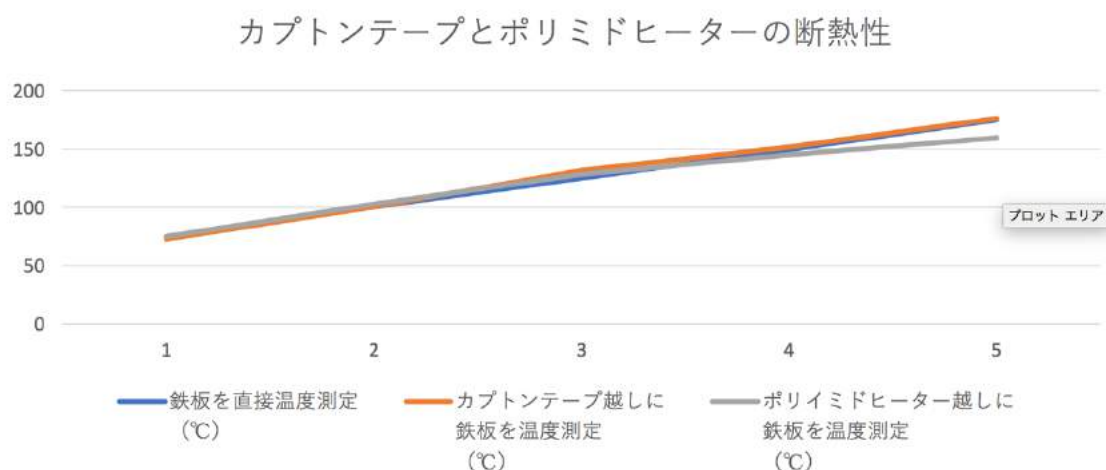
(図 35) 実験環境(左:ポリイミドヒーター越しに測定、中:鉄板を直接測定、右:カプトンテープ越しに測定)

以下の表 7 および表 8 が上記「カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力」の可能性の検証にかかる実験の結果である。

(表7)「B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力」  
の可能性の検証にかかる実験の結果-1

設定温度	鉄板を直接温度測定	カプトンテープ越しに 鉄板を温度測定	ポリイミドヒーター越しに 鉄板を温度測定
75℃	75	73	75
100℃	100	101	103
125℃	125	132	128
150℃	150	152	145
175℃	175	176	160

(表8)「B-6. カプトンテープが断熱材となり熱電対温度センサが異常値を出力」  
の可能性の検証にかかる実験の結果-2



上記の表7および表8からも明らかなように、鉄板にカプトンテープを接着させた上で、同テープの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものと、鉄板にポリイミドヒーター（現行品と同じもの）を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものは、鉄板に熱電対センサを直接接触させて温度を測定したものとほぼ同じ温度を出力している。150℃以上の高温度域において、鉄板にポリイミドヒーター（現行品と同じもの）を接着させ、同ヒーターの表面に熱電対センサを接触させて温度を測定したものが10℃程度低い温度を出力しているが、基本的にはリニアに温度上昇をしており、熱暴走の原因となるほどの温度だとは言いがたい。このことより、カプトンテープなしポリイミドヒーターが断熱材となり、熱電対温度センサが異常値を出力することに起因した、熱暴走があったことは非常に考えにくい。



B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことにより異常値を出力する可能性に関する検証実験、および

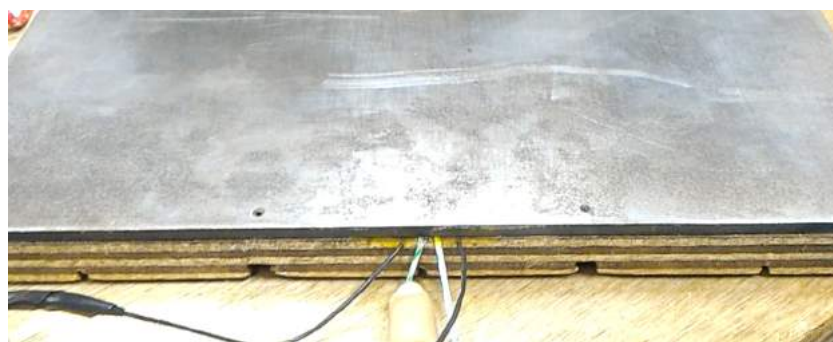
B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性に関する検証実験

Cogon(3台)、Poblacion II(2台)、Dampas(2台)のヒートプレスマシンでは、ヒーター制御用に設置されている熱電対温度センサのアセンブリは、前述 B-5 等で説明したように、温度センシングを精緻にするためにセンサ格納のために板材に掘られた溝から温度センサ先端部を外に露出させて鉄板と密着させるタイプ A(下表9および10のA:センサ先端部を溝外に出してのセンシング)と、温度センサ先端部もセンサ格納のために板材に掘られた溝内に格納されているタイプ B(下表9および10のB:センサ先端部を溝内に格納してのセンシング)の2通りがある。前述の B-5 の検証実験で明らかになったように、熱電対温度センサへの圧力は、異常値の出力に繋がらないようであるが、特に温度センサ先端部もセンサ格納のために板材に掘られた溝内に格納されているタイプ B のアセンブリでは、熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかった可能性が疑われる。従って、上記2タイプに差がないかについて、実験により検証を行った。

実験の概要: 現行ヒートプレスマシンと同様の各種パーツを用い、上記タイプ A および B のアセンブリを行った上で、実際に昇温を行い、タイプ A および B の温度を以下の7ポイントにて測定した。

- ・ 25°C(室温)
- ・ 40°C
- ・ 60°C
- ・ 80°C
- ・ 100°C
- ・ 120°C
- ・ 140°C

なお、熱電対温度センサを格納するために板材に掘られた溝は、1本しか温度センサを設置することができないサイズのため、実験時の鉄板温度を制御するためのサーモスタットに接続される熱電対温度センサは、放熱の激しい鉄板端部にテーピングにより固定して行った(図36)。このため、実験時における基準値ともなった制御温度は、検証の対象となるタイプ A およびタイプ B のセンサが設置されている鉄板中央部よりもかなり温度が低かったはずであることに注意されたい。



(図36) 実験環境の構成

実験のための温度制御に用いる、サーモスタット、熱電対温度センサ、ポリイミドヒーターについては、現行のヒートプレスマシンと同製品かつ新品のものを用いた。

なお、蒸気の発生により熱電対温度センサが異常値を出力する可能性を同時に検証するために、上記 A、B ともに、以下の 2 通りにて昇温実験を行った。

- ・ 比較的乾燥が少なく蒸気の出やすい、未使用の板材 (A および B)
- ・ 比較的乾燥が進んでおり蒸気の出にくい、既に複数回使用された板材 (A' および B')

以下の表 9 および表 10 が上記「B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことにより異常値を出力する可能性」、および「B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性」に関する検証実験の結果である。

(表 9) 「B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことによる異常値を出力する可能性」、  
および「B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性」に関する検証実験結果  
(比較的乾燥が少なく蒸気の出やすい、未使用の板材パーツを用いた場合)

鉄板の端部の温度(°C) (=実験時の制御センサの温度)	25 (室温)	40	60	80	100	120	140
A: センサ先端部を溝外に出してのセンシング	28	54	82	111 (水蒸気・異臭発生)	143	175	168
B: センサ先端部を溝内に格納してのセンシング	31	51	81	106 (水蒸気・異臭発生)	127	161	165
温度差(=A'-B')	-3	3	1	5	16	14	3

(表 10) 「B-7A. 熱電対温度センサが適切に熱源に接していなかったことによる異常値を出力する可能性」、  
および「B-7B. 蒸気の発生により熱電対温度センサの異常値出力の可能性」に関する検証実験結果  
(比較的乾燥が進んでおり蒸気の出にくい、すでに複数回使用された板材パーツを用いた場合)

鉄板の端部の温度(°C) (=実験時の制御センサの温度)	25 (室温)	40	60	80	100	120	140
A': センサ先端部を溝外に出してのセンシング	25	52	78	110 (水滴が少量発生)	142	184 (異臭発生)	195 (発煙)
B': センサ先端部を溝内に格納してのセンシング	36	48	78	104 (水滴が少量発生)	135	164	186
温度差(=A'-B')	-1	4	0	5	16	14	3

上記の表 9 および表 10 から、100℃以下の低温領域ではタイプ A と B において有意差が認められず、基本的にはアセンブリの方法の違いが大きくセンシング温度の違いとなって現れることはなさそうであるとわかる。他方、100℃以上の高温領域にて、目視できる水蒸気ないし目視できない程度の蒸気が発生(板材の下部における水滴の発生により確認)した場合には、タイプ A と B の間で最大 20℃の温度差が発生している。また、未使用の板材を用いた場合は、水蒸気の量が多いことに起因してか、鉄板温度が上昇してもセンサ温度が下降する現象も見られた。これにより、タイプ B のアセンブリでは水分が熱電対温度センサ格納用として板材に掘られた溝内に溜まるなどして熱電対温度センサのクーラントの役割を果たしていた可能性が疑われる。これは水蒸気発生から一定時間経過して温度が更に昇温するタイミングで再び温度差が縮まることによっても確認できる。このような実験結果より、アセンブリの差異に起因して、全く温度が取れなくなったり、数十を超える大きな温度差が発生するなどはなく、よって顕著な熱暴走状態が発生することは考えにくいとは言え、アセンブリの差異に起因して、鉄板の実際の温度とセンサの温度の間に、最大で 20℃程度の温度差をもつことが判明したと言える。

#### B-1 から B-7A までの検証実験の結果からの、“B(広範囲における、焦げ、焼け)”の発生原理(メカニズム)の考察と特定

これら B-1 から B-7B までの全ての疑義において、それぞれ検証実験を行った結果、その全てにおいて極端な異常動作・異常値の出力は計測できないこと、また(B-7の検証実験においていくらかの外れ値は観測されたものの)、ほぼ正常動作・正常値の出力があることが確認された。

よって、本調査対象の現行ヒートプレスマシンにおいては、少なくとも設計ミスや部品の故障そのものによる制御不良・不能によって、全く温度が取れなくなったり、ヒーター全体が数 10℃を超えるほどの高温になることは、非常に考えにくいと結論づけることができよう。

これらより導き出されるのは、設計時には想定ないし検証されなかった「長時間」の利用における木材の焦げ・焼けの可能性である。木材において、口火がない場合の着火温度は 400℃～480℃であるとされている<sup>3</sup>。そのため、ヒートプレスマシンを利用(設定)温度である 140℃で利用していれば、着火が起こることはないはずである。しかし一方で、木材は 150℃以下から表面で炭化が始まり、150℃以上になれば低温着火の可能性が発生し<sup>4</sup>、着火温度よりはるかに低い 170℃であっても、88 時間の長時間の加熱を行えば発火に至ったという報告もある<sup>5</sup>。

ヒートプレスマシンに用いられる合板における低温着火の正確な最低温度は定かではない。しかし、鉄板の温度を 140℃にしようとヒーターを制御した場合、鉄板による放熱を差し引く前のヒーター自体の温度は 170℃程度以上であったことは、上記 B-7の実験結果などより十分に考えられ、この場合、鉄板の熱線直下部分の板材の表面温度も同じく 170℃程度以上であったことも十分に想定可能である。よって、制御部品そのものにも挙動にも問題がなく、温度制御自体は狙い通りに正確に行われていた上で、制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こった可能性があると考えることも不自然ではなく、今回の発煙の原因として十分に可能性があると考え得る。

<sup>4</sup> 原田寿郎, 木材の燃焼性および耐火性能に関する研究, 京都大学, pp1-109,  
[https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/160886/2/D\\_Harada\\_Toshiro.pdf](https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/160886/2/D_Harada_Toshiro.pdf)

<sup>5</sup> 木材の長期低温加熱による 出火危険性について <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-gijyutuka/shyohou2/23/23-02.pdf>

### 3-2-2. 具体的な発生原因1:熱源部に木材を利用した設計

制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こった可能性について、これを裏付けるのが下記の図 37～図 40 である。先ず、図 37 は、現行ヒートプレスマシンを構成するものと同種の合板で、何らの熱処理が加えられていない端材である。

- ・図 38 は図 37 の端材を 140℃のポリイミドヒーターで 10 分、および 30 分加熱したもの、
- ・図 39 は 160℃のポリイミドヒーターで 10 分、および 30 分間加熱したもの、
- ・図 40 は 180℃のポリイミドヒーターで 10 分、および 30 分間加熱したものである。



(図 37) 熱処理が加えられていないヒートプレスマシンに用いられたものと同種の木材



(図 38) 140 度で熱処理が加えられた木材(左:10 分、右:30 分)

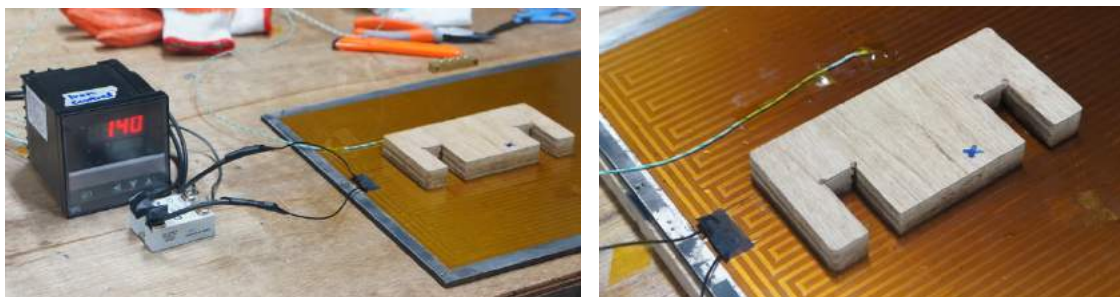


(図 39) 160 度で熱処理が加えられた木材(左:10 分、右:30 分)



(図 40) 180 度で熱処理が加えられた木材(左:10 分、右:30 分)

なお、実験環境は以下の図 25 のように、現行のヒートプレスマシンで行なわれているように鉄板の温度を測定するのではなく、ヒーター熱線部に直接温度センサを設置して、ヒーター表面温度＝木材の表面温度を直接測定している。



(図 41) 図 37～図 40 までを測定した実験環境

なお、図 24 における加熱中には、発煙および異臭が観測された。このことより、現行ヒートプレスマシンを構成する木材(合板)160 度～180 度で(例え木材の着火温度である 400℃以下の利用であっても)、表面の炭化や発煙が起こることが確認できた。

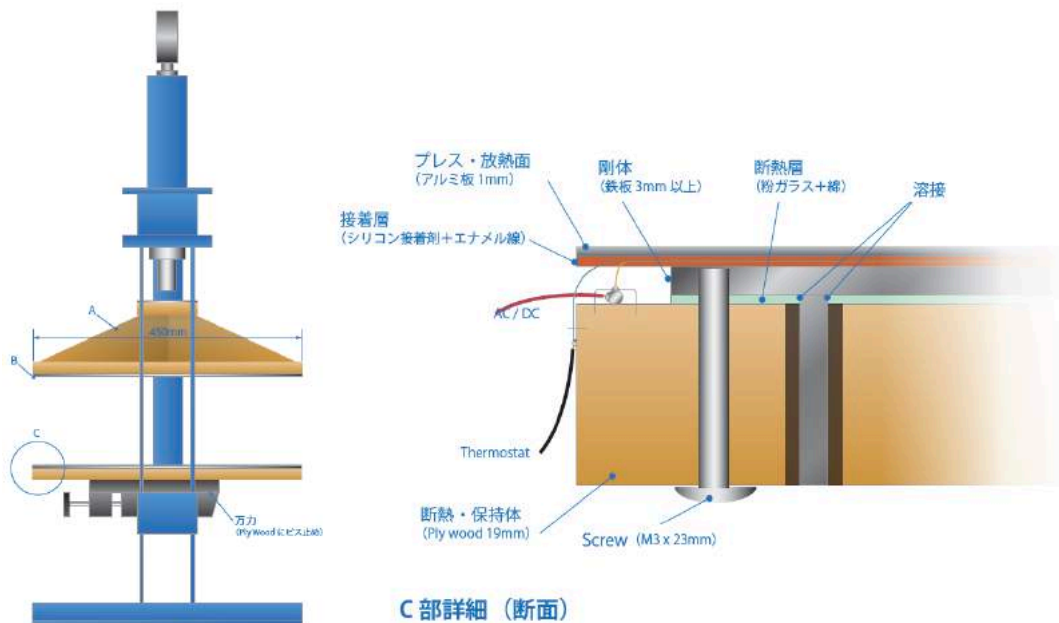
前項 3-2-1 で説明したように、現行ヒートプレスマシンにおいて、設定温度は 140℃であり、かつ正常に制御されている状態でもあっても、ヒーター表面温度が 170℃程度以上となることは十分に起こり得ること、また、図 24 の板材における焦げ・焼けの状態が最も損傷が大きかった Cogon のマシン群のそれと似かよった様相を呈していることより、**“3-2. B(広範囲における、焦げ・焼け)の発生原因”は、想定通りの制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こったことによるものと考えてよいものと言える。**

よって、これは**そもそもヒートプレスの熱源(ヒーター)の近接部に、断熱材等を介さずに木材を設置する設計そのものに問題がある**と考えられる。

なお、蛇足ではあるが、初期のプロトタイプ的设计案(徳島より 2014 年 8 月に作成・提案)では、以下の図 26 のように断熱材を配することでヒーターと木材の断熱が図られる設計案となっており、断熱・放熱に配慮されたものであった。よって、筆者の徳島および徳島の研究チームでは誰もが(本調査において機体を解体するまでは)、てっきり板材と鉄板の間には断熱材が配されているものとはばかり思い込んでおり、解体時によって、現行のヒートプレスでは、鉄板と板材が一切の断熱材を介さず直接密着していたことを見つけた際の驚きは大きなものであった。

量産設計時に何らかの理由(納期ないし予算が足らなかった、などの理由が推測される)で、断熱材が省かれてしまったことも、このような問題の発生につながる一因となったものと思われる。





(図 42) 木材と鉄板の間に断熱層を配し、直接鉄板と木材が接しない設計となっている、初期プロトタイプ的设计案  
(2016年8月22日付、徳島により作成)

さらに蛇足ではあるが、ボホール州近隣のセブ州では以下図 27 のような、建材用のグラスウール断熱材が購入できることが確認できており(2017年12月8日)、上図 26 のように粉ガラスによる手製の断熱材を加工せずとも、このような市販の断熱材を配することで、ヒーターと板材との断熱は適うはずである。また、現行のヒートプレスマシンの鉄板の加工元がセブ州であることを考えれば、例え政府調達の手続きの煩雑さを考慮に入れたとしても、このような断熱材を購入することは容易であったはずである。



(図 43) セブ州で購入できるものと同種のグラスウール断熱材

## 4.その他危険要素

### 4-2. 高圧部の結線等のとりまわし

今回調査を行った全台数のヒートプレスにおいて、その 220V の高圧部の取り回しは、非常にずさんかつ手荒なもので、危険を感じた。

特にその結線については全ての箇所において「二本の導線を“こより状”に捻って(箇所によってはその上から粘着テープを巻いて)固定したのみで、半田付け、ロウ付けはなし」というお粗末さであった(図 44)。



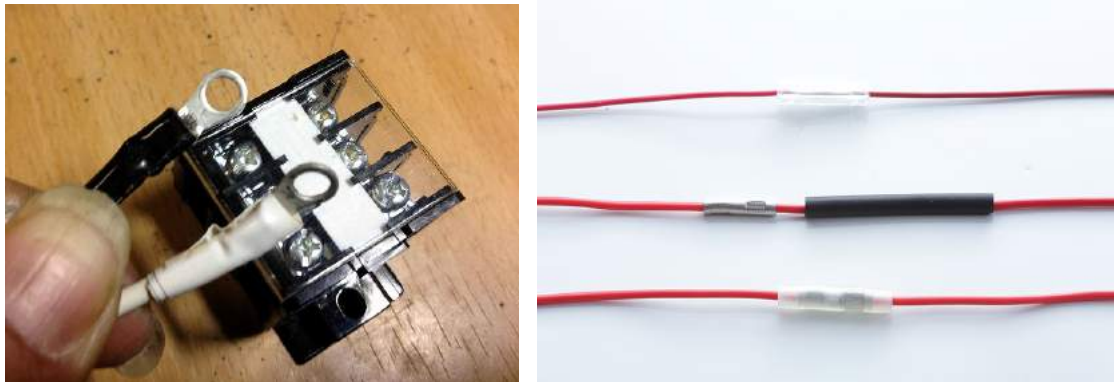
(図 44)ヒートプレスの220V 高圧部の結線の様子

このような手法による結線の固定は非常に弱く、何らかの要因でコードが引っ張られるなどがあれば、容易に 200V 高圧部が露出したまま断線状態になってしまう。また、もしこの状態で 220V 高圧部が鉄板に触れるなど起これば、漏電による事故が発生することはほぼ間違いない。実際に調査中において解体時に結線の両端を持って強く引っ張ったところ、簡単に捻りがほだけ「200V 高圧部が露出したまま断線状態」となった。

なお、参考として日本工業規格(JIS)においては、類似の接続方法を「ツイストジョイント」と呼びこれを規定しているが、このツイストジョイントでは”必ずろう付けをしなければならない”と明記されており、やはりこのような結線は推奨されていない。<sup>6</sup>

一般的な電気工事では、上記のような危険を避けるために、下図 45 のような圧着端子を使うことが一般的であり、このようなものを使うことで、例えある程度のビギナーによる施工であったとしても、確実に安全が確保されることとなる。今回のヒートプレスのアSEMBリでは、このような、高圧部の取り回しにおける基本中の基本が省かれてしまっていたことで、ユーザーに本来無用のリスクを負わせ設計・アSEMBリとなっていたことは、非常に遺憾であると言える。

<sup>6</sup>公益社団法人日本電気技術協会、電気技術解説講座、<https://www.jeea.or.jp/course/contents/04209/>



(図 45) 一般的な圧着端子による高圧部の結線

さらに、このような箇所によっては220Vの高圧が露出するようなくさんな結線であるにもかかわらず、機体の掃除等のメンテナンスは、全く行われていなく見受けられた。220V 高圧部にもホコリがたまっているなど(高圧部とホコリの間でスパークの発生などが懸念される)もあり、その面からも非常に危険な状況が看過されていた状況であったと言える。

#### 4-2. オペレーション面の危険要素

調査中のヒアリングでは、発煙は数度に及んで目撃されたということが明らかになっている。今回の発煙・発火等の異常の発生時は、本報告書の写真などで理解できるように、その発煙時には非常に強い焦げた臭い、またヒーターの熱溶解時には非常に強いケミカル臭が発生していたことは、ほぼ間違いがないものと推測できる。また、異常発生後の数日間は、この異臭が部屋に充満していたことが予想され、これがユーザーおよび運用者(現場監督)により気づかれなかったとはとても考えられない。

問題発生の根本的な原因は、前述のような設計不良・組立不良であることは間違いがないが、異常発生の初期段階でオペレーションが停止され、適切なメンテナンス・修理がなされていれば、このように全マシンに重篤な故障が発生することはなかったであろうことが推測される。数度に渡る、明らかな異常を知らせる発煙や強い異臭の発生を把握しつつ、尚且つオペレーションを続行し、女性ユーザーの命を長期間に及び危険に晒すような状況を招いたことに対しては、設計者だけの責に帰すものではなく、管理者・現場の運用者(現場監督)にも重大な過失があったと考えるのが自然であろう。

またさらにオペレーション面では、本調査におけるヒアリングによって、DTI と菅野青年海外協力隊員により運営される、ボホール州タグビラン市で実施中のヒートプレスを用いたプロジェクトにおける、以下のような問題も明らかになった。

- 4-2-1. 管理者・運用者(現場監督)への安全講習がなく、管理者・運用者(現場監督)が安全知識を持っていないまま「なんとなく」の知識でヒートプレスの運用を行っていた。  
(ヒートプレスの耐熱温度をきっちり把握しないなど)

- 4-2-2. ユーザーへの安全講習がなく、ユーザーの女性は安全対策について全く知識がないままに、ヒートプレスの利用が行われていた。これにより一部の利用者は「ヒートプレスの耐熱温度が 400℃である」などの間違った理解(実際は 200℃強)をしており、これによりヒートプレスの破壊(熱融解・焦げ・炎上)につながる、異常温度上昇の見逃しがあった。
- 4-2-3. 現行のヒートプレスでは、メンテナンスのルールが何ら設定されておらず、またメンテナンスの担当者も設定されていなかった。この結果、利用開始から半年経過した時点で、ヒートプレスの機体は掃除さえもされた形跡がなく、機体はひどく損傷(ひどいサビに侵されて、オイルタンクのネジが緩んでオイルが漏れたまま床に垂れ流しになっており、220V の高圧部は埃まみれで、プレスはガタついており、鉄板のプレス面にはいずれの機体でもプラスチック片がこびりついているなど)していた。
- 4-2-4. 機材管理担当者・オペレーション担当者の制定が明確には行われていなかった。なお、DTI は現地の FabLab がこれを担当するべきだと発言しているが、現地の FabLab スタッフには自らがこのプロジェクトのパーマナントなメンテナンス担当者であるという意識く、実際にも大学に常勤雇用される大学職員である FabLab スタッフが、ルーティンワークを含むメンテナンス業務を担当するという建付にはかなりの無理があると言えよう。
- 4-2-5. 修繕費の積立方法の確立は全く行われておらず、本問題の発生によって初めて、修理費の捻出をどの組織が行うかなどを一から話し合うこととなった。
- 4-2-6. 緊急時の連絡先の設定がなく、問題を発見した女性は恐怖を感じてはいたものの、どこに連絡するべきか判然としないまま問題の発煙の発見から時間が経過したことで、調査の開始まで長らくの時間がかかったようである。
- 4-2-7. このプロジェクトでは、プロジェクトのオフィシャルローンチから半年程度が経過しているが、ヒートプレスを日常的に利用するメインのユーザーは女性 1 名(プラス、この女性の協力者数名)に過ぎず、ほぼ全ての生産作業が、この女性とが密室的に行われていたようである。このような密室的な作業では、問題発生時にもその問題が容易に隠蔽されやすい。今後多人数のユーザーを巻き込んだ広いプロジェクト展開が求められよう。

## 5. 今後求められる対策

### 5-1. 具体的対策案

ヒートプレスにおいて、当該マシン使用における発煙・発火などの事故を防止するためには、設計要素、アセンブリ、その他危険要素の排除を行うための、以下の5-1-1から5-1-11の安全対策が考え得る。

#### 5-1-1. 木材を使用しない設計とする。

熱源近傍に可燃物を配さないこと、また製品自体をなるべく不燃物・難燃物で構成することは、ヒーター等の熱源を備える製品を設計する際の、基本中の基本であると言える。

ボホール州タグビラン市に配置されている、貿易産業省(DTI)と高木元青年海外協力隊員により設計された現行品のヒートプレスでは、ヒーターの熱源に密着する形で木材のパーツが配されており、その他のパーツでも木材パーツが多用されていることから、そもそも安全性への配慮が成されたとは言い難い。

今後用いられるヒートプレスでは、そもそも可燃物となる木材パーツの利用は一切行わず、ヒーター近傍は不燃物である金属にて構成し、その他パーツも可能な限り不燃物・難燃物にて構成する設計とし、そもそも発煙・発火の原因となる可燃物を、特に熱源近傍から一切排除する設計とするべきである。

#### 5-1-2. ヒーターのワットage(電力)を下げ、そもそも危険な温度にまで昇温しない設計とする。

前項1のように可燃物となる木材パーツの利用を一切行わないことで、熱源近傍に可燃物がなくなり、発煙・発火の原因はほぼ排除されるが、より安全を期すために、そもそも発煙ないし発火の温度にまで昇温しないヒーターを設計ないし選定して、これを熱源として用いることで、さらに綿密に事故の防止を行い、安全性を確保するという手段も考え得る。

より具体的には、平面ヒーターの入出力のワットage(電力)を現在のものよりも大幅に下げた、小電力のヒーターを設計ないし選定して、これを熱源として用い、ヒーターが密着する鉄板による放熱による降温効果により、実駆動時に危険領域までへの昇温が不可能か非常に難しくし、これにより一切の発煙・発火を防止し、安全性を確保することができる。

#### 5-1-3. センサおよびヒーター等の精密機器にプレス加重をかける設計を行わない

前項1および2からさらに安全性を高めるため、発煙・発火を招くスパーク等の放電の防止を目的とした、ヒーターに傷を作らずヒーターの被覆を厳密に保護する設計を行うことで、さらに厳重な事故の防止を行い、安全性を確保することが可能となる。



現行品のヒートプレスでは、ヒーター面に直接プレス荷重の 0.7Mpa 程度が加圧される設計になっている。しかしながら、このような大きな繰り返し加重はヒーターおよびその被膜がダメージを与え、短期間で被覆の破れなどの疲労破壊を誘引するであろうことが容易に予想される。よってヒーターの被覆保護の面から、ヒーター面に高い圧力を加圧する設計は、そもそも適切ではないと言えることができる。

今後用いられるヒートプレスでは、加圧面となる鉄板にリブ等を配し、このリブ等を介して加圧を行う設計とすることで、ヒーターには直接プレスの圧力がかからぬようにして、ヒーターの被覆の保護を適え傷から守り、スパーク等の放電を防ぐことが肝要となる。

なお、このように、ヒーターに直接プレスの圧力がかからない設計とすることで、アSEMBリ中に発生してしまう多少のバリやゴミ等の異物がヒーター近傍に混入しても、ヒーターが損傷する心配が殆どなくなるために、本設計要件はアSEMBリ中のコンタミの問題についての解決案ともなり得、この面からも事故の防止を行い、安全性を確保することに貢献することができよう。

#### **5-1-4. 皮膜が厚い等、スパーク放電に配慮されたヒーターを選定する。**

前項 3 において明らかなように、ヒーターに直接加重をかけない設計とすることによって、日常における単純使用によるヒーターの損傷は防がれて、局所的な焼けによる発煙・発火を招く、スパーク等の放電を防ぐことができるが、さらに安全性を高めるための、より綿密な安全対策を行う場合は、被覆の厚いヒーターの選定を行えば、なお良い。

現行品のヒートプレスに用いられているポイリミドヒーターの皮膜はコンマ数ミリ程度の薄フィルムであるので、より皮膜の厚いヒーターの選定を行うか、そもそもポイリミドヒーターでなく、シリコンラバーヒーターなどの皮膜の厚いタイプの平面ヒーターなどの採用についても積極的に検討することが肝要となろう。

#### **5-1-5. アSEMBリ(組み立て)マニュアルを策定し、アSEMBリ時には日本人スタッフの現場監督によりマニュアル通りに組み立てられているか監視を行い、現場監督がいない場所でのアSEMBリを一切行わない。**

前項 1~4 の対策を行うことで、発煙・発火の原因となる設計要素はほぼ全て排除され、さらにアSEMBリ(組み立て)におけるミス等が発煙・発火につながることもほぼ無くなると言える。特に前項 3 の対策にてヒーターに直接プレスの圧力がかからない設計とすることで、アSEMBリ中に発生してしまう多少のバリやゴミ等の異物がヒーター近傍に混入しても、ヒーターが損傷する心配は殆どなくなり、このためにアSEMBリの要件・難度はかなり下がる。

しかし、アSEMBリ中に作業者の手抜き行為や、思い込みによる、手順や図面指示の無視行為などによる想定不可能なヒューマンエラーによる事故原因の発生が予想・対策されていれば、事前に予想不可能な万が一の事故の防止を行うことができ、より高次の安全性を確保できることとなる。

**5-1-6. アセンブリ(組み立て)後、必ずプロジェクト・マネジャーにより、全数の品質検査・動作確認検査を実施し、この品質検査・動作確認に合格しない機体を一切使用しない。**

前項5よりさらに、アセンブリ(組み立て)が終わった完成品のヒートプレスは、アセンブリマニュアルおよび現場監督の指示通りに問題なくアセンブリが行われたか、また各部品・各デバイスが問題なく動作しているか、品質検査と動作確認検査を綿密に行われればなお良い。

**5-1-7. ブザー(警報)を搭載する。**

一般に、利用に危険を伴う工作機器類では、危険察知・事故防止の機能として、異常事態を知らせる警報音(ブザー)の機能が搭載されることがある。また、一般的なサーモスタット(温度制御装置)には、この警報音(ブザー)を搭載するための出力端子が備えられていることが多く、ここにブザー(ないしスピーカー)を接続すれば、熱暴走などを起こして装置が想定異常に高温になった際などにはビープ音を鳴らして、ユーザーに異常事態を察知させる機能を容易に搭載することができる。

なお、現行のヒートプレスに用いられているサーモスタット(温度制御装置)にも、この警報音(ブザー)を搭載するための出力端子が備えられていたが、ブザー(ないしスピーカー)の接続は行われていなかった(納期ないし予算が足らなかった、などの理由が推測される)。

今後用いられるヒートプレスでは、ユーザーが異常事態や危険を察知するための機能として、異常事態を知らせる警報音(ブザー)の機能を搭載されるべきであろう。

**5-1-8. 緊急停止ボタンを搭載する。**

一般に、利用に危険を伴う工作機器などでは、危険・事故防止の機能として、異常事態にその動作を速やかにかつ完全に停止させる、緊急停止ボタンの機能が搭載されることがある。これは、いざユーザーの身に危険が迫った際に、ユーザーがパニック状態となって、一時的に通常通りの判断・操作ができなくなったときにでも、目下の危険から容易に逃れられるようにするための機能として搭載されるものである。

この機能は通常は、人体に危険が及ぶような非常に危険な自動工作機器(自動制御で刃物をコントロールして切削作業を行うマシンや、超高出力のレーザー機器、自動プレスマシンなど)に搭載される機能であり、手動でプレス操作し、かつ生命に大きな危機があるような危機がないヒートプレスに搭載するには少々大げさな機能と言えるが、ユーザーが貧困層の女性であることを鑑みて、ささいな危険においてもパニック状態になることもあり得るとの方が一の想定のもと、緊急停止ボタン機能を搭載するというのも考えらえる安全対策となる。

**5-1-9. フィードバックを2系統にし、制御部が万一故障した際のバックアップを備えた設計とする。**

安全対策をより万全にし、万が一の事故を防止するために、機器の温度をセンシングするフィード

バックを2系統配備することによって、メインの制御システムが故障するなど、何らかの異常により正常に動作しなくなった際のバックアップを備えることができる。

より具体的には、メインの制御システムである、温度センサおよびサーモスタットとは別に、さらにもう1セット別系統のセンサおよびサーモスタット(ないしサーモメータ)を、搭載する。

このことによる副次的効果として、普段の利用の際でも2系統の別々のセンサにより別々に表示される温度表示を比較しながら、異常・危険がないかどうか確認することができるので、より高精度に異常事態や危険を察知することにもつながり、これによってさらに事故の防止を行い、安全性を確保できるようになる。

#### 5-1-10. ユーザーに安全講習を義務付ける。

一般的な機械工作施設(工学・技術系の大学等の工房、ファブラボ等のデジタルファブリケーション施設、その他市民工房など)にて、利用者に施設の設備・工作機器の利用許諾を与える際には、利用に先立ち、利用者の安全を守るための安全講習を行うのが普通である。

利用者はこの安全講習によって、設備・工作危機を安全に使うための情報・ルールなどを知り、これに沿って利用を行うことで、設備・工作危機の利用時における安全の確保が行われる。

DTIと菅野青年海外協力隊員により運営される、ボホール州タグビララン市で実施中のヒートプレスをを用いたプロジェクトでは、ユーザーの女性には何らの安全講習が行われず、ユーザーの女性は安全対策について全く知識がないままに、ヒートプレスの利用が行われていたことがヒアリング調査によって明らかになっており、一部の利用者は「ヒートプレスの耐熱温度が400℃である」(実際は200℃強)などの間違った理解をしており、これによりヒートプレスの破壊(熱融解・焦げ・炎上)につながる、異常温度上昇の見逃しがあったこともまた、ヒアリングにより判明している。

今後用いられるヒートプレスマシンの運用では、ユーザーは安全講習を受けねばならぬものとするのが、考え得る安全対策の一つとなろう。

#### 5-1-11. メンテナンスルースを策定し、実施を徹底する。

いかなる設備・機械であっても、安全かつ無事故でそれを運用・利用するには、その機械に異常がなく、利用に際して危険がないのかを常日頃から確認し、少しでも異常があれば手入れを行うという、日常のメンテナンスが必要不可欠となる。換言すれば、メンテナンスを行うことで、軽微な不良箇所を発見することができ、修理不可能な大きな不良の発生を回避できるのであって、メンテナンス抜きには継続的・持続的な設備・機械の運用はありえないと言える。

現行のヒートプレスマシンでは、メンテナンスのルールが何ら設定されておらず、またメンテナンスの担当者も設定されていなかった。この結果、利用開始から半年経過した時点で、ヒートプレスの機体は掃除さえもされた形跡がなく、機体はひどく損傷(ひどいサビに侵されて、オイルタンクのネジが緩んでオイルが漏れたまま床に垂れ流しになっており、220Vの高圧部は埃まみれで、プレス

はガタついており、鉄板のプレス面にはいずれの機体でもプラスチック片がこびりついているなど)していた。

メンテナンスがしっかり行われた順調な機体であれば、放置すれば大事故につながるヒーターの初期な軽微な破壊(熱融解・焦げなど)などが万が一発生したとしても、ユーザーが「いつもと何か違う」と気づけることもあるが、メンテナンス不良でダメージが随所にあるような状態での利用では、敏感に異常を察知することも難しくなる。

今後用いられるヒートプレスマシンの運用では、全ての機体にメンテナンス担当者を設置し、設定されたメンテナンスルールのもと、定期的なメンテナンスを行うことが肝要となる。

## 5-2. 対策の妥当性

### 5-2-1. 他社製品との比較

前項 5-1 の対策案の妥当性を検討するために、筆者が所属する慶應義塾大学内の設備として利用実績のある、市販品のヒートプレスマシン(アズワン社製、AH-2003、市場価格 465,000 円:図 46)を参考として、その安全機能の比較を行った。以下の表 11 が、この結果の結果である。



(図 46) 市販ヒートプレス(アズワン社製、AH-2003)

(表11) 現行・市販・対策案による新設計の各ヒートプレスマシンの安全対策の比較

	現行のヒートプレス (高木元隊員による設計)	市販品のヒートプレス (アズワン AH-2003)	本調査による対策案による 新設計のヒートプレス
5-1-1 木材を利用しない設計	×	○	○
5-1-2 危険域までに昇温しないヒーター	×	×	○
5-1-3 ヒーターに直接加圧しない設計	×	○	○
5-1-4 スパークに配慮されたヒーター	×	○	○
5-1-5 アセンブリ時に日本人が監督	△ (常時ではないが高木隊員が 指導したとの談あり)	○ (日本製であるので、 一般的な常識として)	○
5-1-6 品質・動作確認検査の実施	×	○ (日本製であるので、 一般的な常識として)	○
5-1-7 ブザー(警報)の搭載	×	×	○
5-1-8 緊急停止ボタンの搭載	×	×	○
5-1-9 2系統のフィードバック	×	? (不明)	○
5-1-10 ユーザーへの安全講習の義務付け	×	N/A	○
5-1-11 メンテナンスの義務化	×	N/A	○

一般にヒートプレスはラボ用の工作機器であり、よってプロユースが前提となる。このため、このアズワン社製のヒートプレス AH-2003 においても、ビギナーの利用を前提とした、“危険域にまで昇温しないヒーターの設計”や、“ブザー(警報)の搭載”や“緊急停止ボタンの搭載”などは成されていない。

その点、本調査報告書の前項5-1による対策案では、ビギナーの女性の利用を前提として、万が一の事故発生に配慮した、それらの安全対策機能を搭載しており、その面で市販品よりもしっかりと安全対策がなされていると言え、十分に妥当な安全対策であると考えられよう。

なお、この市販品ヒートプレスマシンに搭載されており、かつ今後用いられる新設計のヒートプレスの設計案に含まれない安全対策は、筆者のレビューの限りでは存在しなかった(=この市販品ヒートプレスマシンに施されている安全対策は、すべて今後用いられる新設計のヒートプレスの設計案には含まれている)ことを申し添える。

#### 5-2-2. 本調査の妥当性について

本報告書の冒頭の「1. 調査の経緯」でも述べたように、本報告書作成者である徳島および徳島の研究チームは、今回問題となったヒートプレスマシンについては、直接的には設計・運用のいずれにも関与しておらず、よって本来的には調査を行う責任も、本報告書を作成する責任も、直接的には存在しないものと考えられる。

徳島および徳島の研究チームが本調査を行い、また本調査報告書を執筆するのは、あくまで“発煙”という状況を鑑み、ユーザーの安全確保を行うべきであるという人道的見地からであり、また、このような安全の確保のための原因究明は、現地では徳島チームにしか不可能であろうという使命



感からのものである。

このようなモチベーションであるので、徳島および徳島の研究チームは、本調査の実施、および本調査報告書の執筆にあたり、調査費および渡航費、現地滞在費などの一切を、JICA を含めた現行のヒートプレスおよびそれを用いたプロジェクトの設計者・管理者・運用者・受益者のいずれの関係者からも受け取っておらず、ボランティアベースでこの調査を行ったものである。

繰り返しとなるが、本調査、および本報告書は「ヒートプレスのユーザーの安全を守る」ことを唯一の目的として、そのための客観的事実を得るために調査・作成されたものであり、その点で、本報告書に記載される各種オブザベーション、ヒアリング、検証実験によるデータ、およびそれから導き出された論考が、フラットなスタンスで実施された、事実元にした客観的なものであることが、ある程度裏付けられよう。

とは言え、限られた時間的・人的リソースで行った調査であり、また検証実験などにおいても、実験環境・手法・手順も併記しつつ、実験自体の妥当性についても読み手が判断できるように配慮をしたつもりではあるものの、実験設備等も十分でない状態でのできる限りのものであったので、その面で、本調査および本調査の妥当性については、読み手による一定の考慮が必要とされよう。

本項の以下の表 12 にて、本調査および本調査の妥当性について、より読み手が考慮を深めることができるよう、社会科学の研究手法を引用して、本調査にて日時・場所・投入リソースなどについて報告を行うので、妥当性の検討のための判断材料の一つにされたい。

(表 12)本調査の実施日時・場所・投入リソース等

日付	実施・作業内容	実施場所	実施者	実施人数 (人)	実施時間 (時間:チームあたり)	合計 実施時間 (時間)
11月6日	・対策方針会議(チーム内)	現地と慶應とのSkype	徳島、松浦、ルリダ	3	2	6
11月7日	・対策対策会議(DTIジェローム氏)	DTIボホール支局	松浦、ルリダ	2	2	4
11月8~26日	・DTIジェローム氏と菅野青年海外協力隊員による生産活動の停止待ち					
11月27日	・対策方針会議(JICA PH事務所、鹿野次長、武藤様、浅田様)	JICAフィリピン事務所	徳島	1	1	1
	・Cogonの2台を解体、および目視検査・調査・撮影	バランガイCogon	松浦、ルリダ	2	3	6
	・ディスカッション(チーム内)	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	1	2
11月28日	・Poblacion IIの1台を解体、および目視検査・調査・撮影	バランガイPoblacion II	松浦、ルリダ	2	2	4
	・Dampasの1台を解体、および目視検査・調査・撮影	バランガイDampas	松浦、ルリダ	2	2	4
	・ディスカッション(チーム内)	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	1	2
11月29日	・Cogonの目視検査・調査・撮影	バランガイCogon	徳島、松浦、ルリダ	3	0.75	2.25
	・Poblacion IIの目視検査・調査・撮影	バランガイPoblacion II	徳島、松浦、ルリダ	3	0.75	2.25
	・Dampasの目視検査・調査・撮影	バランガイDampas	徳島、松浦、ルリダ	3	0.5	1.5
	・Dampasの1台解体作業	バランガイDampas	徳島、松浦、ルリダ	3	1	3
	・ディスカッション(チーム内)	PWP for IWI PJオフィス	徳島、松浦、ルリダ	3	1	3
	・中間報告書の作成	PWP for IWI PJオフィス	徳島	1	3	3
11月30日	・中間報告書の作成	PWP for IWI PJオフィス	徳島	1	6	6
12月1日	・DTI報告用プレゼンテーションPPT作成	PWP for IWI PJオフィス	徳島、松浦	2	2.5	5
	・DTI報告・対処方針会議(DTIマリソル氏、ジェローム氏)	DTIボホール支局	徳島、松浦、ルリダ、ガリアレス	4	2	8
12月4日	・FabLab Boholへの報告と対処方針会議	ボホール島州立大学	徳島、松浦、ルリダ	3	2	6
	・FabLab Boholでの報告会議の議事録作成と配布	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	1	1
12月5日~7日	・JICAフィリピン事務所による菅野隊員の活動の取材のために、調査の一時停止					
12月7日	・上記取材の参加よりプレゼン予定を欠席した 現地女性のフォローアップ(市役所の市長室向け)	PWP for IWI PJオフィス	徳島、松浦、ルリダ、ジェイ	4	2	8
12月7日(夜間)	・上記取材により移動された資機材等の破損等の検査・現状回復等 Cogonの1台の解体作業	バランガイCogon	徳島、松浦	2	1	2
		バランガイCogon	徳島、松浦	2	2	4
12月8日	・上記取材により移動された資機材等の破損等の検査・現状回復等 Cogonの1台の解体作業(続き)	バランガイCogon	徳島、松浦	2	1	2
	・Cogonでのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査	バランガイCogon	徳島、松浦	2	2	4
	・Cogonでの再目視検査と撮影	バランガイCogon	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Cogonの温度センサ・サーモスタット・SSRの回収	バランガイCogon	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Poblacion IIでの1台の解体作業	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	1	2
	・Poblacion IIでのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	2	4
	・Poblacion IIでの再目視検査と撮影	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Poblacion IIの温度センサ・サーモスタット・SSRの回収	バランガイPoblacion II	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Dampasのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査	バランガイDampas	徳島、松浦	2	2	4
	・Dampasでの再目視検査と撮影	バランガイDampas	徳島、松浦	2	0.5	1
	・Dampasの温度センサ・サーモスタット・SSRの回収	バランガイDampas	徳島、松浦	2	0.5	1
12月9日	・実験環境の構築(必要部材の購入等)	セブ市	徳島、松浦	2	4	8
12月10日	・熱電対温度センサの動作確認実験	フィリピン大学セブ校	徳島、松浦、ルリダ	3	8	24
12月11日	・熱電対温度センサの動作確認実験(続き)	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	2	4
	・サーモスタットの動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	4	8
	・Dampasのベニヤ板及び鉄板のベンディング状況調査(続き)	バランガイDampas	松浦	1	3	3
	・実験結果を受けての原因考察会議	現地と慶應とのSkype	徳島	1	1	1
12月12日	・熱電対温度センサの異常圧力下(タッカー)動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	3.5	7
	・熱電対温度センサの異常圧力下(プレス庄)動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	4	8
	・SSRの動作確認実験	PWP for IWI PJオフィス	ルリダ	1	3	3
	・カプテンテープ等の断熱性検証実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	3	3
	・実験結果を受けての原因考察会議	現地と慶應とのSkype	徳島、松浦、ルリダ	3	2	6
12月13日	・水蒸気・アセンブリ・セッティング等の因果関係調査・実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦、ルリダ	2	4	8
	・ベニヤの低温燃焼実験	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	4	4
	・実験結果を受けての原因考察会議	現地と慶應とのSkype	徳島、松浦	2	2	4
	・最終報告書作成	慶應義塾大学	徳島	1	8	8
12月14日	・市役所・DTI報告会議	市役所会議室	松浦、ルリダ、ガリアレス	3	1.5	4.5
	・市役所・DTI報告会議の議事録作成	PWP for IWI PJオフィス	松浦	1	1	1
	・最終報告書作成(続き)	慶應義塾大学	徳島	1	8	8
12月18日	・慶應義塾内部での安全対策方針会議(第一回)	慶應義塾大学	厳、徳島、その他博士学生	2	3.5	7
	・慶應義塾内部での安全対策方針会議(第二回)	慶應義塾大学	厳、徳島	2	0.5	1
	・安全対策にかかる書類作成	慶應義塾大学	徳島	1	6	6
	・最終報告書作成(続き)	慶應義塾大学	徳島	1	8	8
12月19日	・最終報告書作成(続き)	慶應義塾大学	徳島、松浦	2	4	8
合計リソース投入時間					250.5	
(M/M換算)					1.56 M/M	

## 6. まとめ

ヒートプレスマシン(DTI と高木元青年海外協力隊員が設計し、DTI が管理し、DTI および菅野青年海外協力隊員によって運用されている、現行品)について、ユーザーより発煙があるとの報告があり、DTI より、徳島がボホール島において独自研究資金により構成する現地研究チームにから発煙の原因究明の調査の依頼があった。徳島およびチームは人道的見地より、ボランティアにてこの調査を行った。調査時間は約 250 時間(約 1.5MM)に及んだ。

ヒートプレスは、Cogon バランガイに 3 台、Poblacion II バランガイに 2 台、Dampas バランガイ 2 台の計 7 台が設置されており、これら全台数を分解して状況を調査した。この調査の結果、全機体(100%)で、焼け・焦げなどからなる何らかの損傷が見られた。

また、高電圧である 220V の漏電の可能性のある機体は、全体の約 57%(8/14)であった。

またさらに、調査により、主たる発煙発生箇所は、ヒートプレスのヒーターおよびヒーターに密着した板材であることが特定され、かつ以下の 2 種の様子を呈する焼け・焦げ跡が観察された。

- A. 局所的な焼け跡(43%で発生)
- B. 広範囲における、焦げ・焼け(79%で発生)

このうち、“A. 局所的な焼け跡”の発生原因は、短時間のスパーク等の放電であったと考える。このスパーク等の放電は、

- ・センサの取り付け方法に起因するヒーター被覆の破れ
- ・組み立ての雑さに起因する傷の発生による被覆の破れ
- ・部品製作の雑さに起因するバリの発生による被覆の破れ

を原因として発生したもので、どれも組立時の取扱い・作業が、非常に粗く、雑であったことより起こった、組立不良に起因するものであると推測される。

また、“B. 広範囲における、焦げ・焼け”の発生原因は、本調査にて行った各種の検証実験により、温度制御デバイス(熱電対温度センサ、サーモスタット、SSR など)の異常が認められず、またアセンブリ(組み立て)や水蒸気の発生に起因する大きな熱暴走がないことが確認できたことから、想定通りの制御の範囲内において、木材が炭化、ないし低温着火が起こったことによるものと考えられる。

実際に想定範囲内といえる 180 度程度でヒートプレスに使われる板材を熱したところ、木材にヒートプレスのものと同様の焦げが起こった。よって、そもそもヒートプレスの熱源(ヒーター)の近接部に、断熱材等を介さずに木材を設置する設計そのものに問題があったと考えられる。

さらに本調査におけるヒアリング等においては、ヒートプレスのオペレーションにおいて、明らかな異常を知らせる発煙や強い異臭の発生を把握しつつ、尚且つ使用が続行されたことが明らかになっており、本問題は設計だけの責に帰すものではなく、オペレーションにも多くの過失があったと考えられる。

以下などは、それら過失の中でも特に、当然解決されていて然るべき対処であったと考えられる。

- ・管理者・運用者(現場監督)がそもそも安全知識をもっていない
- ・ユーザーへの安全講習がない
- ・メンテナン斯拉ール・担当者が設定されていない

最後に、本調査報告では、上記のような問題を解決し、今後安全なヒートプレスの設計・運用を行うために、市場に流通する一般的なヒートプレスなどを参考にしながら、以下の 11 の安全対策案を提案した。

- ・木材を利用しない設計
- ・危険域までに昇温しないヒーター
- ・ヒーターに直接加圧しない設計
- ・スパークに配慮されたヒーターの選定
- ・アセンブリ時の日本人による監督
- ・品質・動作確認検査の実施
- ・ブザー(警報)の搭載
- ・緊急停止ボタンの搭載
- ・2系統のフィードバックの搭載
- ・ユーザーへの安全講習の義務付け
- ・メンテナンスの義務化

以上の対策を施すことで、今後問題なく、安全にヒートプレスを設計・運用できるものと考えられる。

以上

# Thermal analysis simulation for heater of heat press machine (Ver2)

January. 31. 2018

Graduate School of Media and Governance

Wanglin Yan Lab.

D2. Yutaka TOKUSHIMA

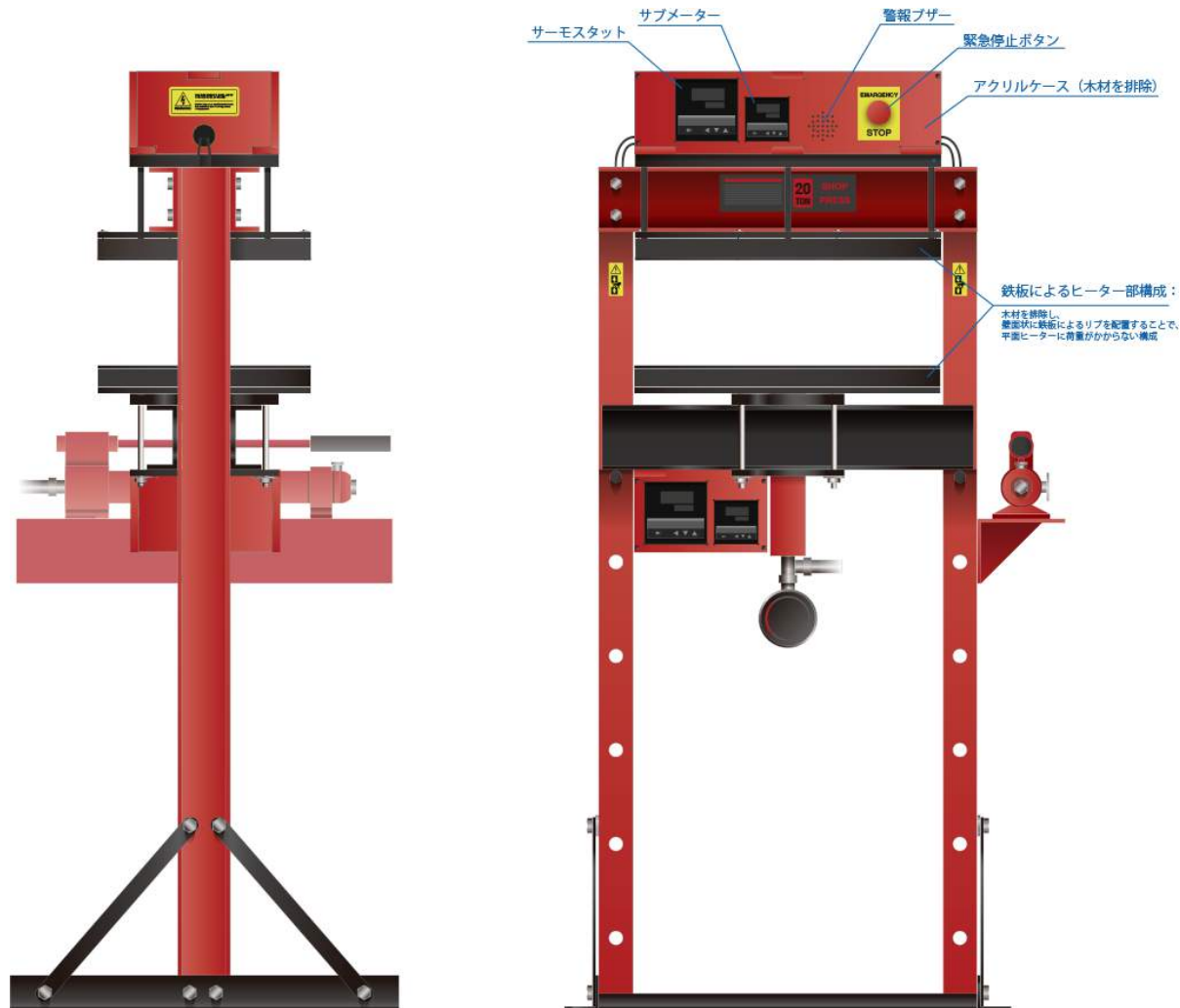


# Future measures

## Specific design improvement plan

1. No wood parts use.
2. Equipped with emergency buzzer.
3. Equipped with emergency stop bottom.
4. Equipped with backup of feedback.  
(Equipped 2nd thermostat)
5. Make heater lower power that heater can not rise to a dangerous temperature.

# (Almost) improved design that could be accorded improvement plan.





# Future measures

## Specific design improvement plan

- Done! ~~1. No wood parts use.~~
- Done! ~~2. Equipped with emergency buzzer.~~
- Done! ~~3. Equipped with emergency stop bottom.~~
- Done! ~~4. Equipped with backup of feedback.  
(Equipped 2nd thermostat)~~
- 5. Make heater lower power that heater can not rise to a dangerous temperature.

# 1. TRYING

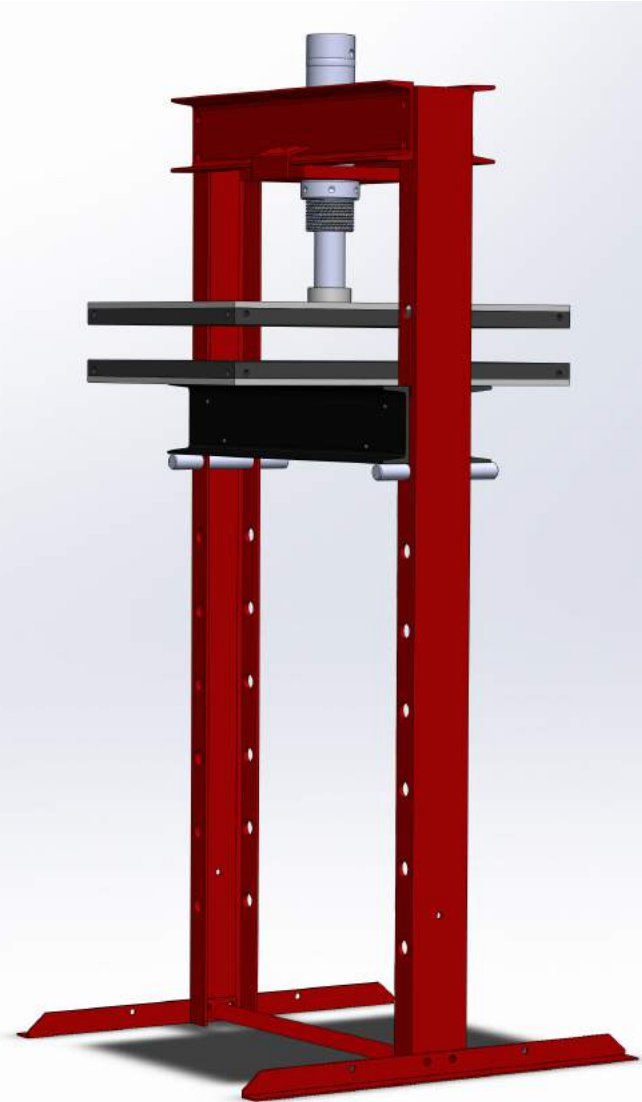
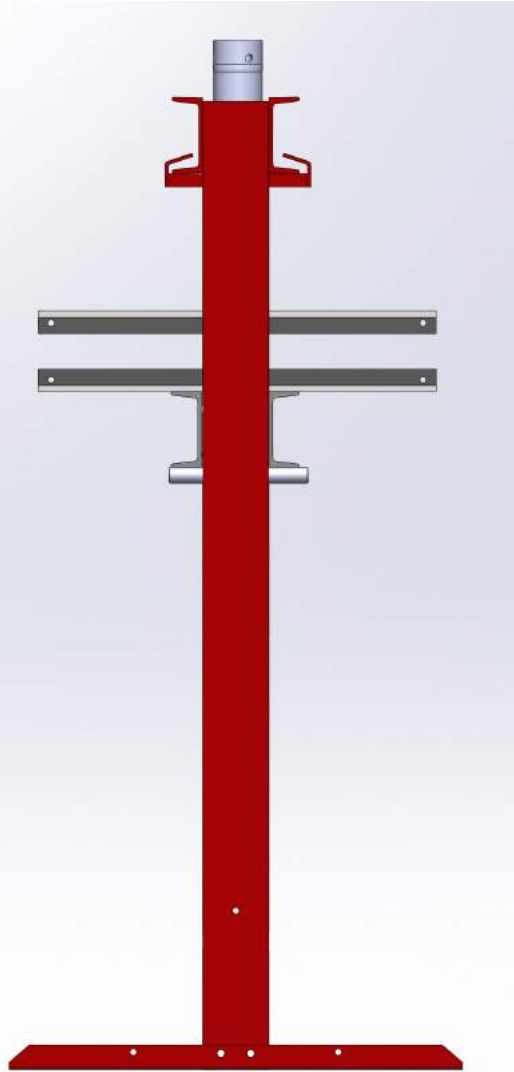
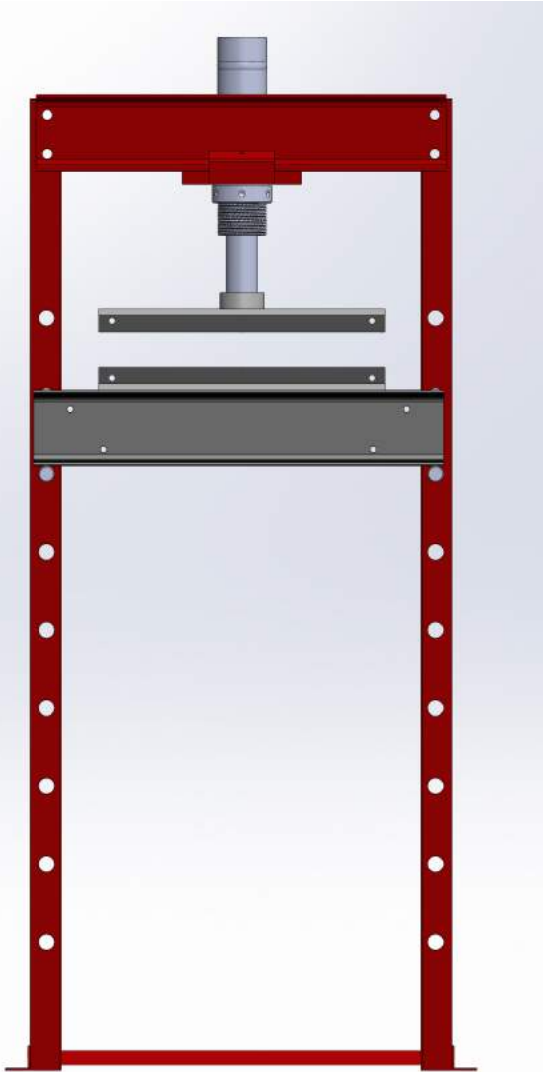
Thermal analysis simulation for heater of  
heat press machine

FOR

Make heater lower power that heater can  
not rise to a dangerous temperature.

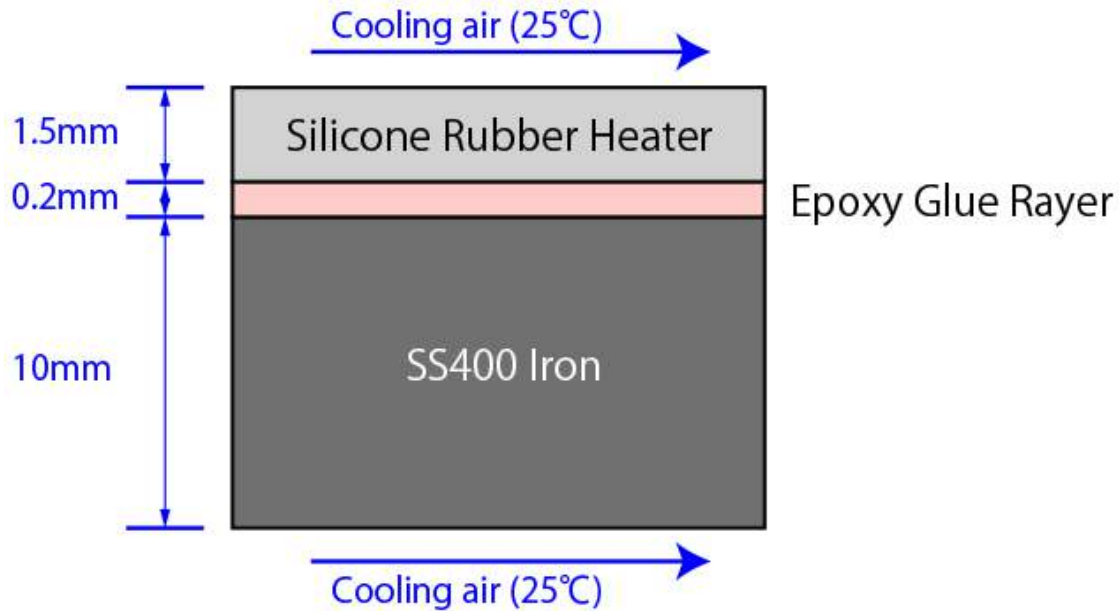


# 2D drawing → 3D modeling (Going on)





## Simulation including Thermal Resistance of Epoxy Layers

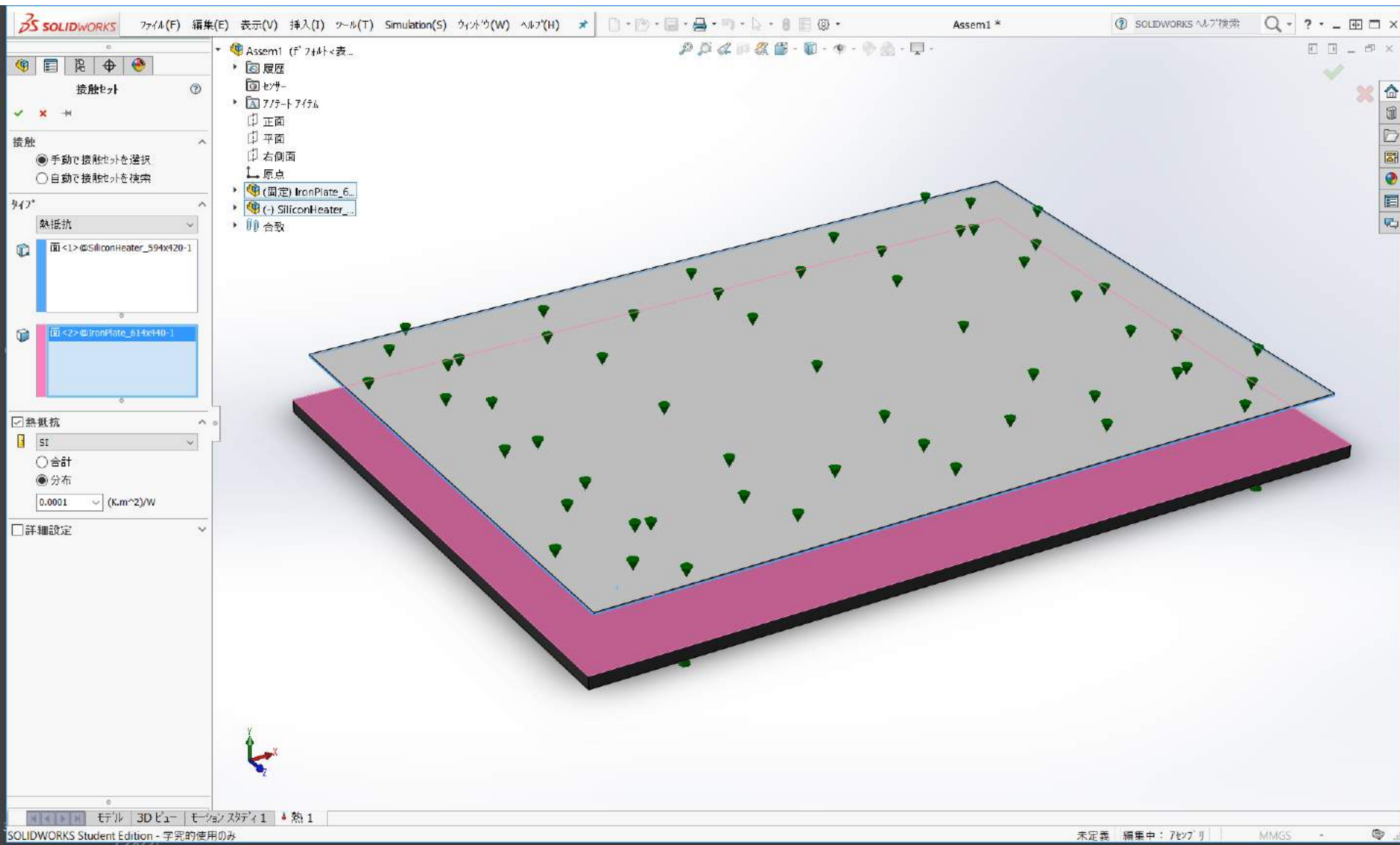


- Silicone rubber heater and iron plate are adhered with 0.2 mm thickness epoxy layer.
- Due to natural convection, cooling air is applied to the upper surface of the rubber heater and the lower surface of the iron plate.

Parameter value :

- Temperature of cooling air = 25°C
- Heat transfer coefficient of convection (Air) = 250 W/m<sup>2</sup>K
- Thermal contact resistance per unit area = 1X10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>K/W

# Set thermal resistance of epoxy layers



Parameter value of silicone rubber heater material:  
Thermal conductivity = 1800 W/m.K  
Specific heat = 1530 J/(kg\*K)

The screenshot shows the SolidWorks Material Properties dialog box for a user-defined material named 'Silicon Laber Heater'. The left pane shows the material hierarchy under 'thermal\_contact'. The right pane shows the material properties, including a table of mechanical and thermal properties.

材料特性  
デフォルト ライブラリの材料を編集することはできません。まず材料をユーザー定義ライブラリにコピーしてから編集してください。

モデルタイプ(M): 線形等方性弾性  
単位(U): SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
カテゴリ(T): thermal\_contact  
名前(M): Silicon Laber Heater  
デフォルト破壊基準(F): 最大Von-Mises応力  
注記(D): Silicon Laber Heater  
ソース(O):  
Sustainability: 未定義

プロパティ	値	単位
せん断弾性係数		N/m <sup>2</sup>
質量密度	2300	kg/m <sup>3</sup>
引張強さ		N/m <sup>2</sup>
圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ		N/m <sup>2</sup>
熱膨張率		/K
熱伝導率	1800	W/(m·K)
比熱	1530	J/(kg·K)

ここをクリックし、多くの材料にアクセスできる  
SOLIDWORKS Materials Web Portalを使用しま

開く...(O) 適用(A) 閉じる(C) 保存(S) コンフィグ...(N) ヘルプ(H)



Parameter value of iron plate (SS400) :  
 Thermal conductivity = 58 W/m.K  
 Specific heat = 460 J/(kg\*K)

材料

SolidWorks DIN Materials

- DIN アルミ合金
- DIN 銅合金
- DIN 鉄
  - 0.6010 (EN-GJL-100)
  - 0.6015 (EN-GJL-150)
  - 0.6020 (EN-GJL-200)
  - 0.6025 (EN-GJL-250)
  - 0.6030 (EN-GJL-300)
  - 0.7033 (EN-GJS-350-22-LT)
  - 0.7040 (EN-GJS-400-15)**
  - 0.7043 (EN-GJS-400-18-LT)
  - 0.7050 (EN-GJS-500-7)
  - 0.7060 (EN-GJS-600-3)
  - 0.7070 (EN-GJS-700-2)
  - 0.7080 (EN-GJS-800-2)
  - 0.8035 (EN-GJMW-350-4)
  - 0.8038 (EN-GJMW-360-12)
  - 0.8040 (EN-GJMW-400-5)
  - 0.8045 (EN-GJMW-450-7)
  - 1.0420 (G200)
  - 1.0446 (G230)
  - 1.0552 (G260)
  - 1.0558 (G300)
- DIN 鋼 (合金)
- DIN 鋼 (快削)
- DIN 鋼 (熱間工具)

材料特性

デフォルト ライブラリの材料を編集することはできません。まず材料をユーザー定義ライブラリにコピーしてから編集してください。

モデルタイプ(M): 線形等方性弾性

単位(U): SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)

カテゴリ(T): DIN 鉄

名前(M): 0.7040 (EN-GJS-400-15)

デフォルト破壊基準(F): 最大Von-Mises応力

注記(D): GGG 40

ソース(O): 30<t<=60mm の引張強さと降伏応力

Sustainability: 定義

プロパティ	値	単位
引張強さ	400000000	N/m <sup>2</sup>
圧縮強さ		N/m <sup>2</sup>
降伏強さ	250000000	N/m <sup>2</sup>
熱膨張率	1.15e-005	/K
熱伝導率	58	W/(m·K)
比熱	460	J/(kg·K)
材料減衰比		N/A

ここをクリックし、多くの材料にアクセスできる SOLIDWORKS Materials Web Portal を使用しま

開く...(O) 適用(A) 閉じる(C) 保存(S) コンフィグ...(N) ヘルプ(H)

# Set convection

The screenshot displays the SolidWorks CAD environment. The left-hand side shows the 'Properties' tree for the 'Convection' boundary condition, with the following settings:

- 単位 (Unit): SI
- 熱伝達係数 (Heat Transfer Coefficient): 250 W/(m<sup>2</sup>·K)
- 参照周囲温度 (Reference Ambient Temperature): 298 Kelvin (K)

The central 3D view shows a blue silicon heater assembly with green arrows indicating convection. A callout box points to the property manager, showing the following values:

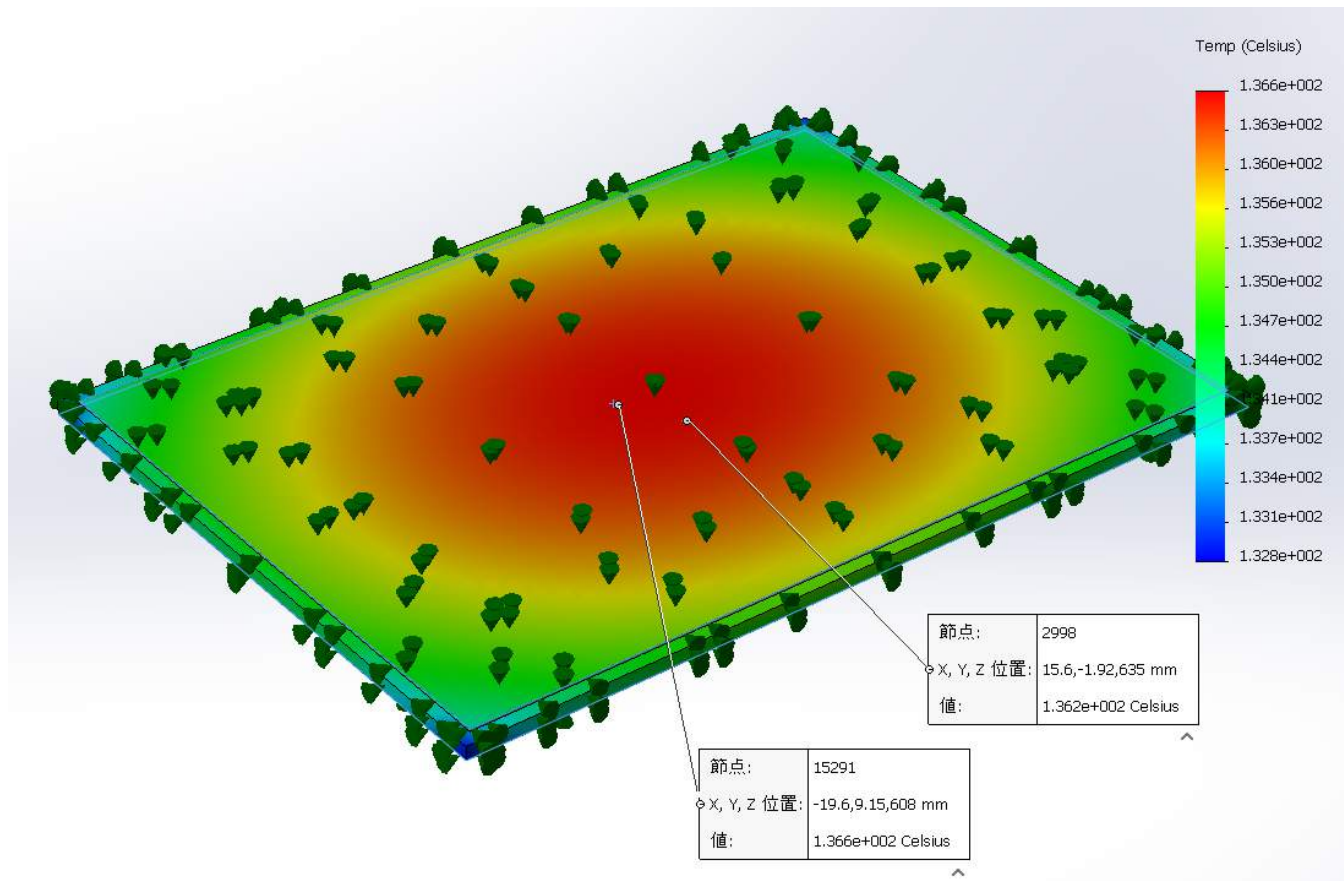
熱伝達係数 (W/(m <sup>2</sup> ·K)):	250
参照周囲温度 (Kelvin (K)):	298

The bottom status bar indicates the current view is '3Dビュー' (3D View) and the assembly is named '熱1' (Heat 1).

# Result of Analysis

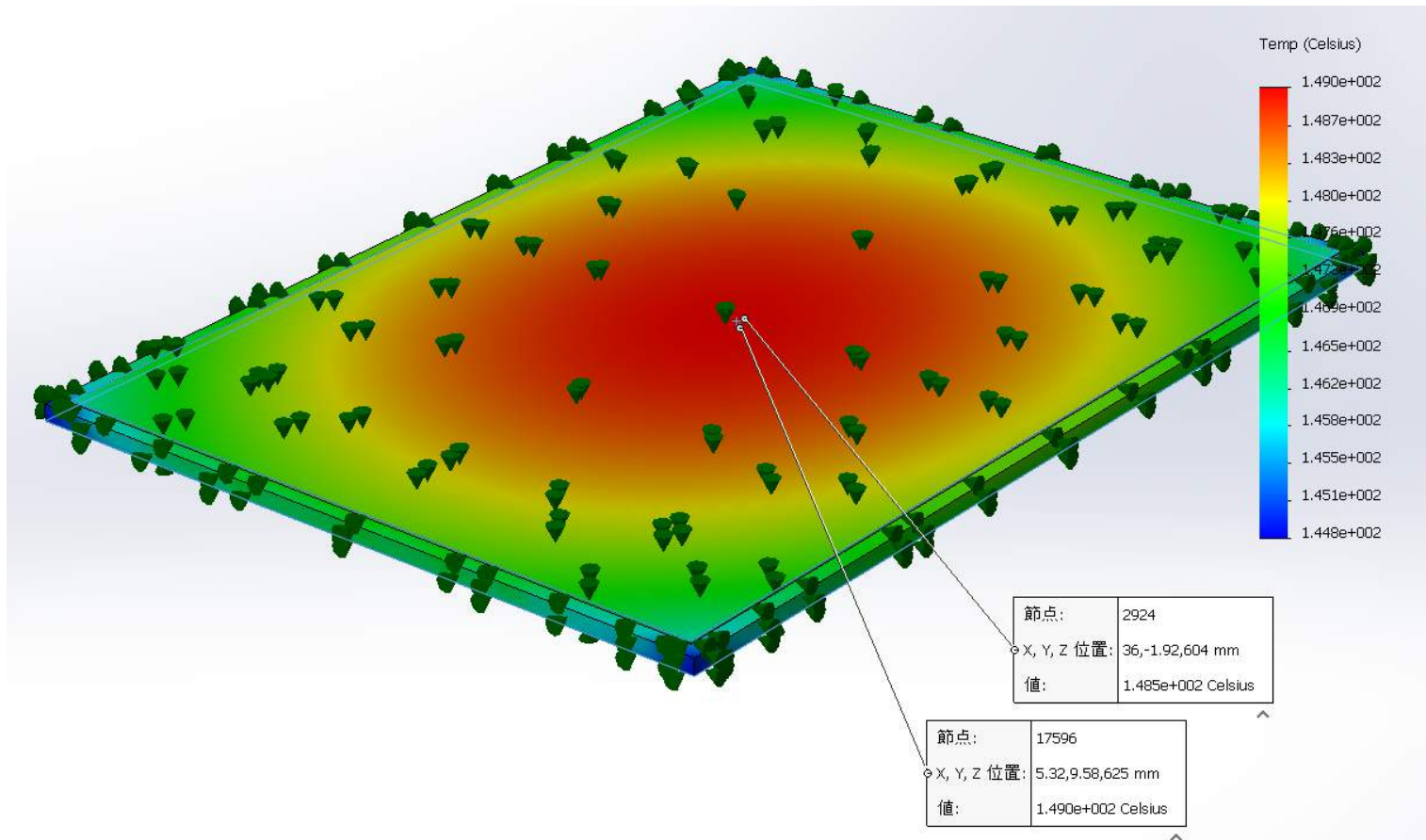
Case of 900W is set as heating value for the heater :

- Center part of heater  $137^{\circ}\text{C}$  (Safety)
- Center part of iron  $136^{\circ}\text{C}$  (Lower limit for using)



Case of 1000 W is set as heating value for the heater :

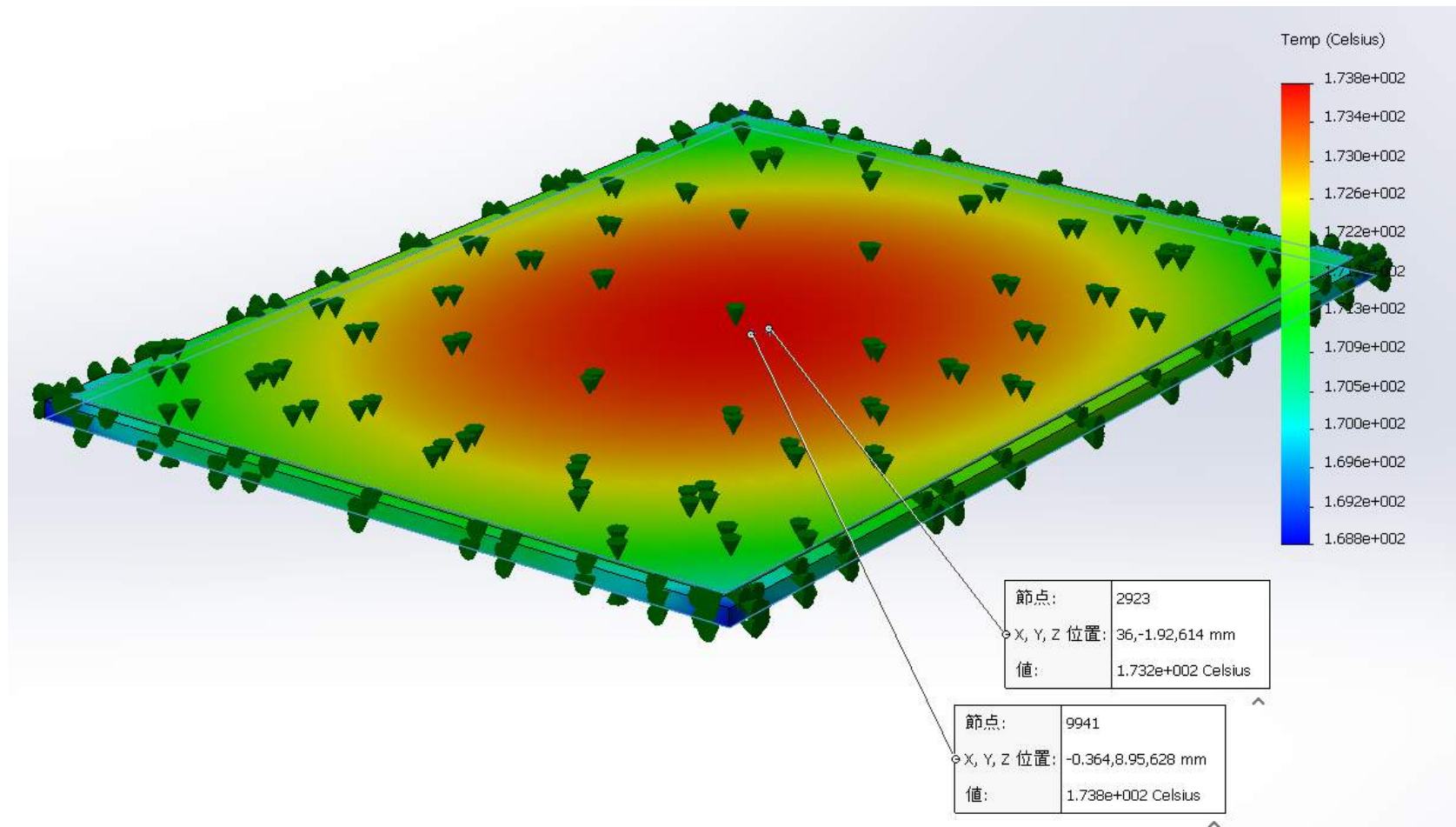
- Center part of heater  $149^{\circ}\text{C}$  ( Safety )
- Center part of iron  $148^{\circ}\text{C}$  ( Better for using )



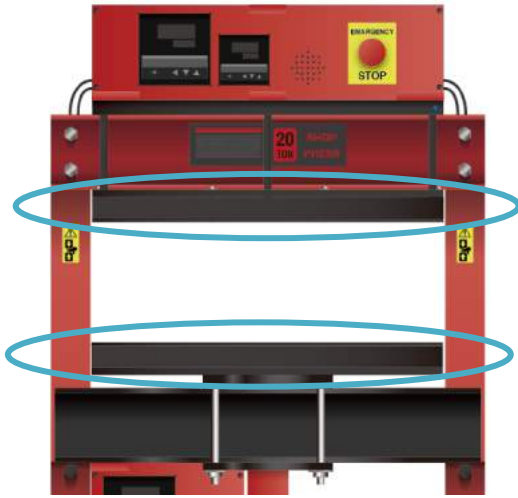


Case of 1200 W is set as heating value for the heater :

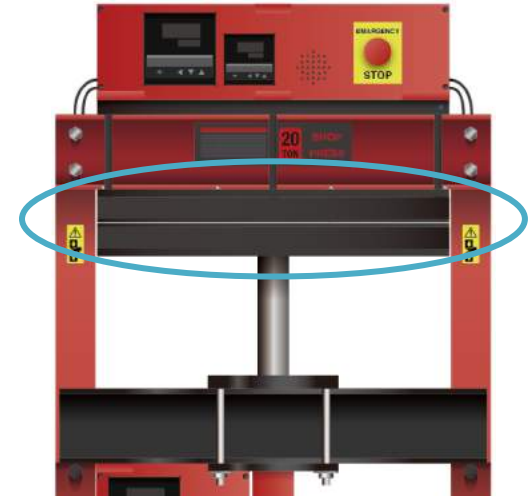
- Center part of heater  $174^{\circ}\text{C}$  (Upper limit for Safety)
- Center part of iron  $173^{\circ}\text{C}$  (Upper limit for using)



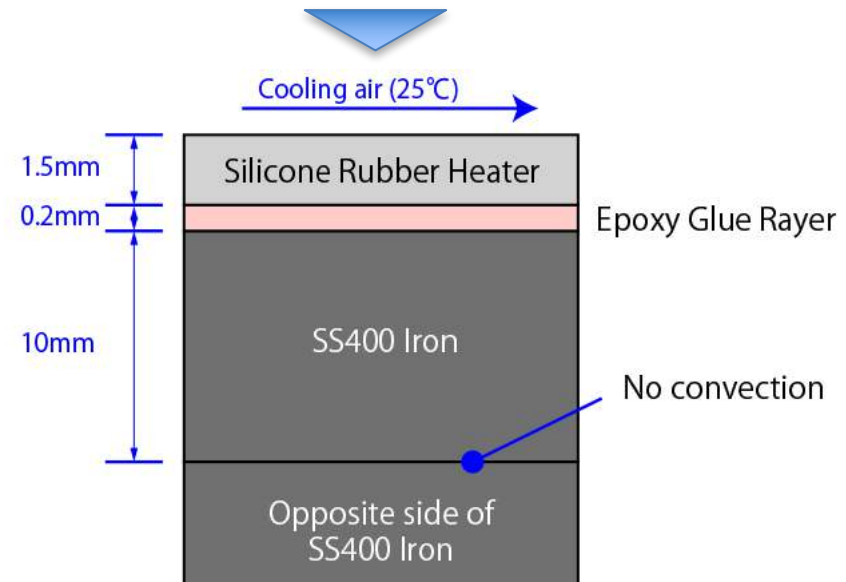
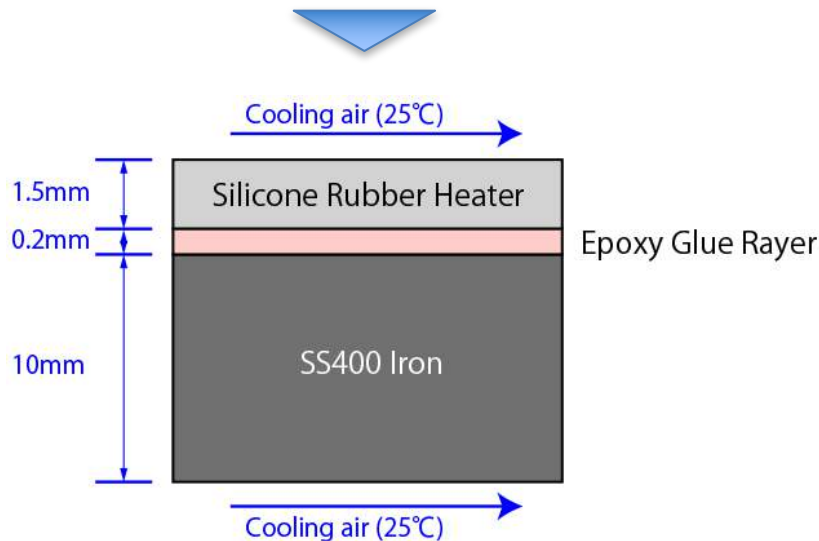
I simulated also,  
Case of upper and lower iron stuck together = There is no convection



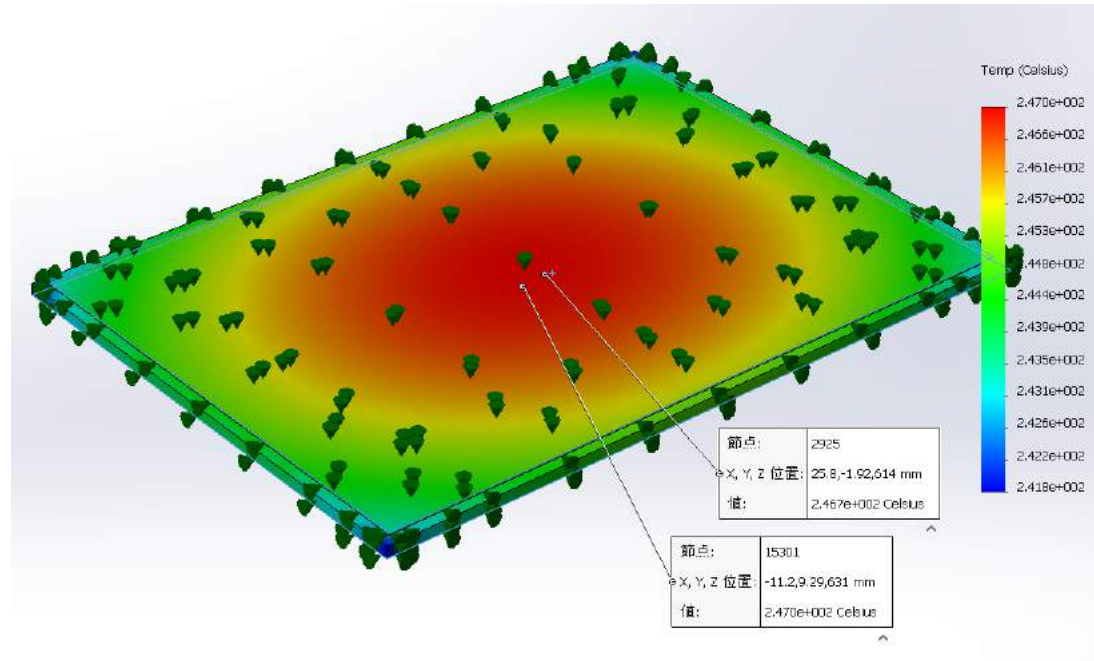
Normal situation



Situation of most dangerous



## Case of 1200W



About **247** degrees in both front and back

If there is no resistance between upper iron plate and lower iron plate, exceeding the upper limit for useful power.

# Result of Simulation

When you want to control the iron plate within room temperature + 150 degrees, by A2 size silicone rubber heater with epoxy adhesive,

heater is required **1200 W** as appropriate wattage.

⊗ Safety measures are necessary, When there is no resistance between the iron plate and the iron plate.

# Future measures

## Specific design improvement plan

Done!

Done! ~~1. No wood parts use.~~

Done! ~~2. Equipped with emergency buzzer.~~

Done! ~~3. Equipped with emergency stop bottom.~~

Done! ~~4. Equipped with backup of feedback.  
(Equipped 2nd thermostat)~~

Done! ~~5. Make heater lower power that heater  
can not rise to a dangerous temperature.~~

Thank you very much



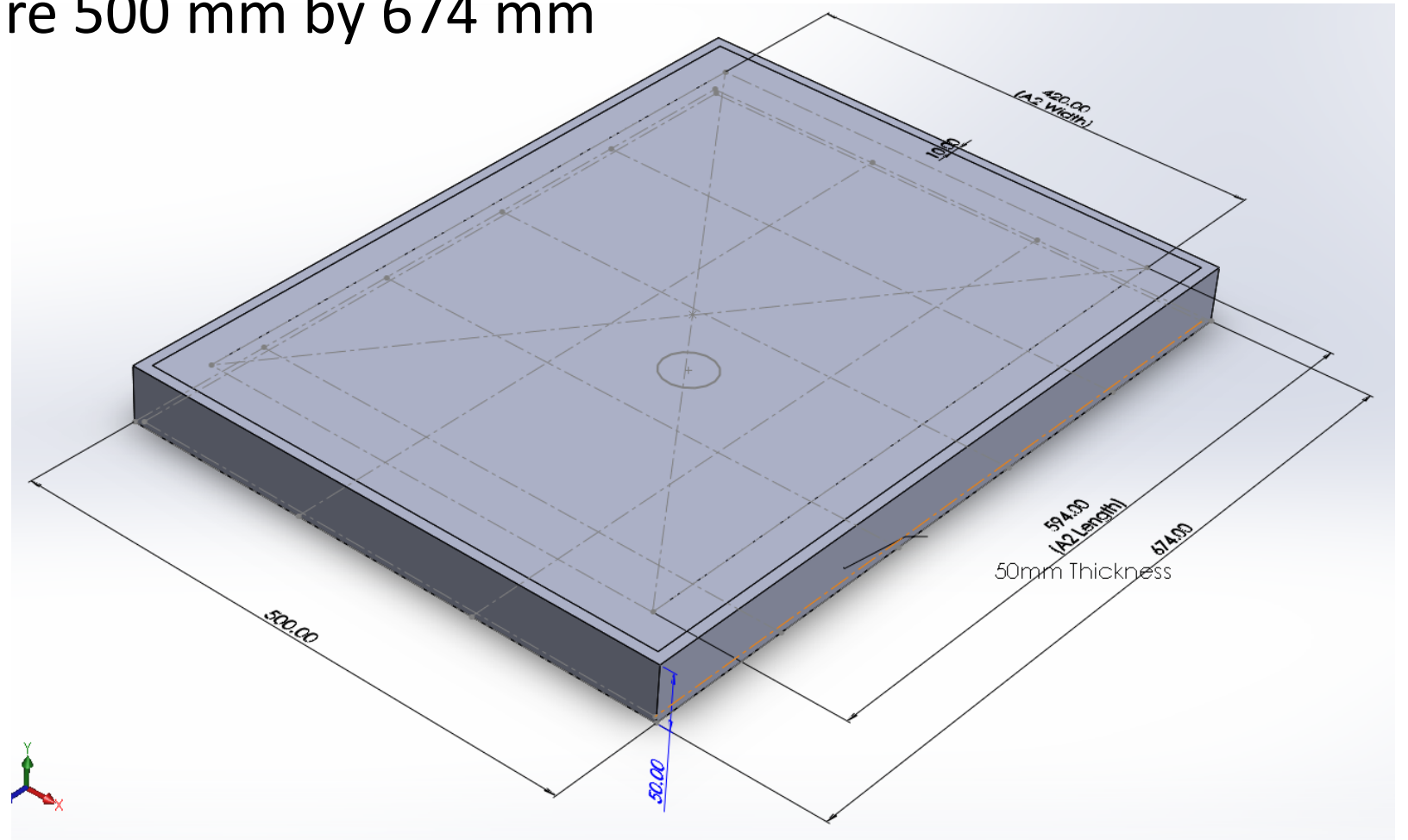
# Initial Results of Heat Plate Mechanism using Topology

# Design Considerations

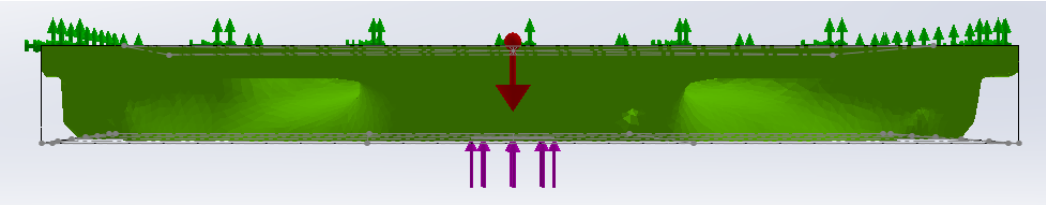
1. Simplify the design of the heat plate mechanism using topology study
2. Adjust the results of (1) to meet the safety considerations.

# Simplification of Design

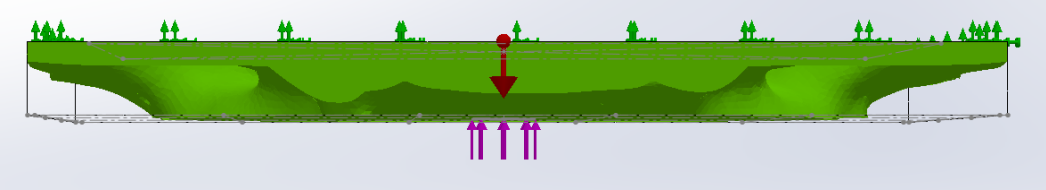
- A 50 mm thickness plate was used as the basic design part
- The dimensions are 500 mm by 674 mm



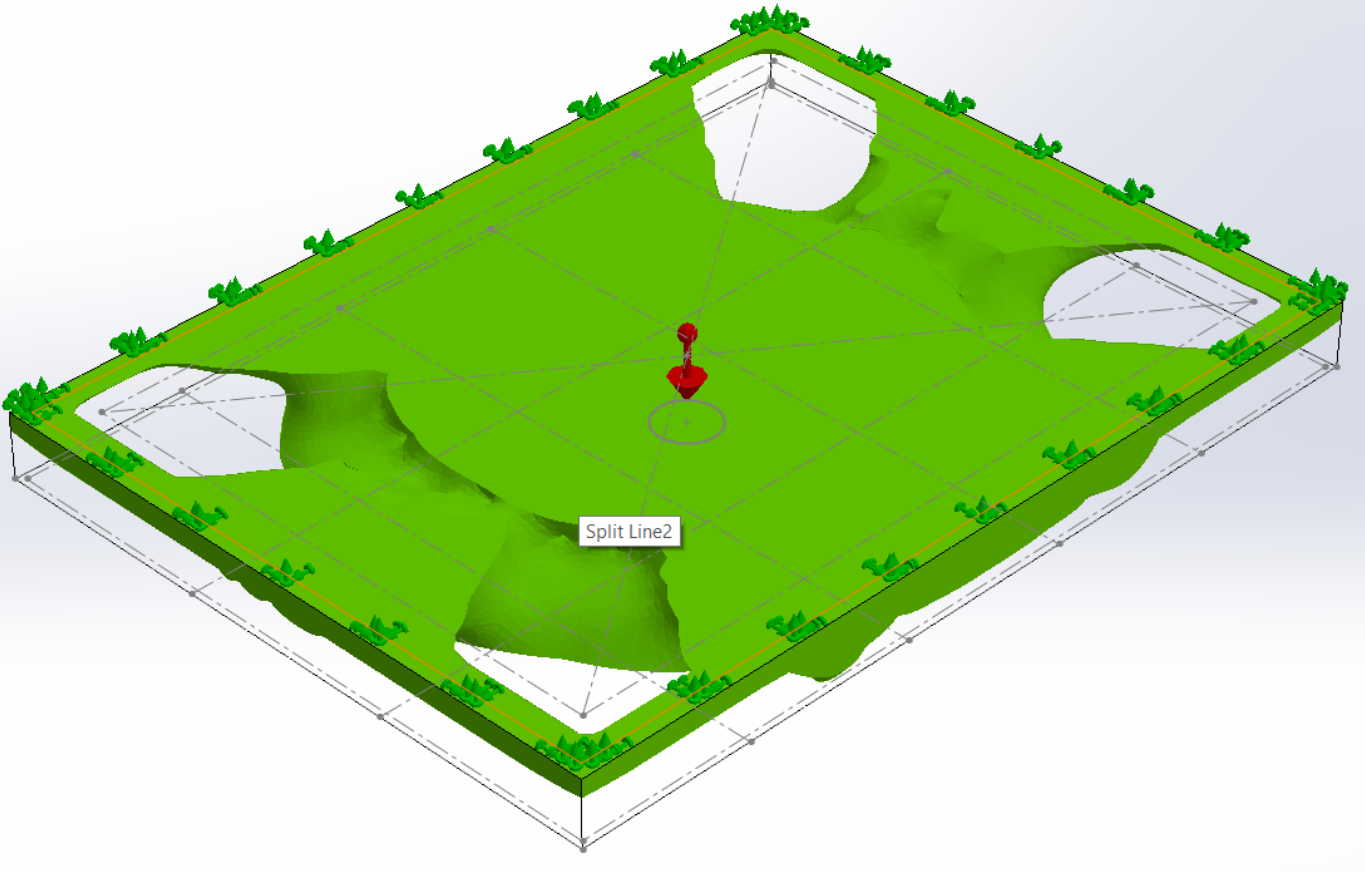
# Topology Study Results



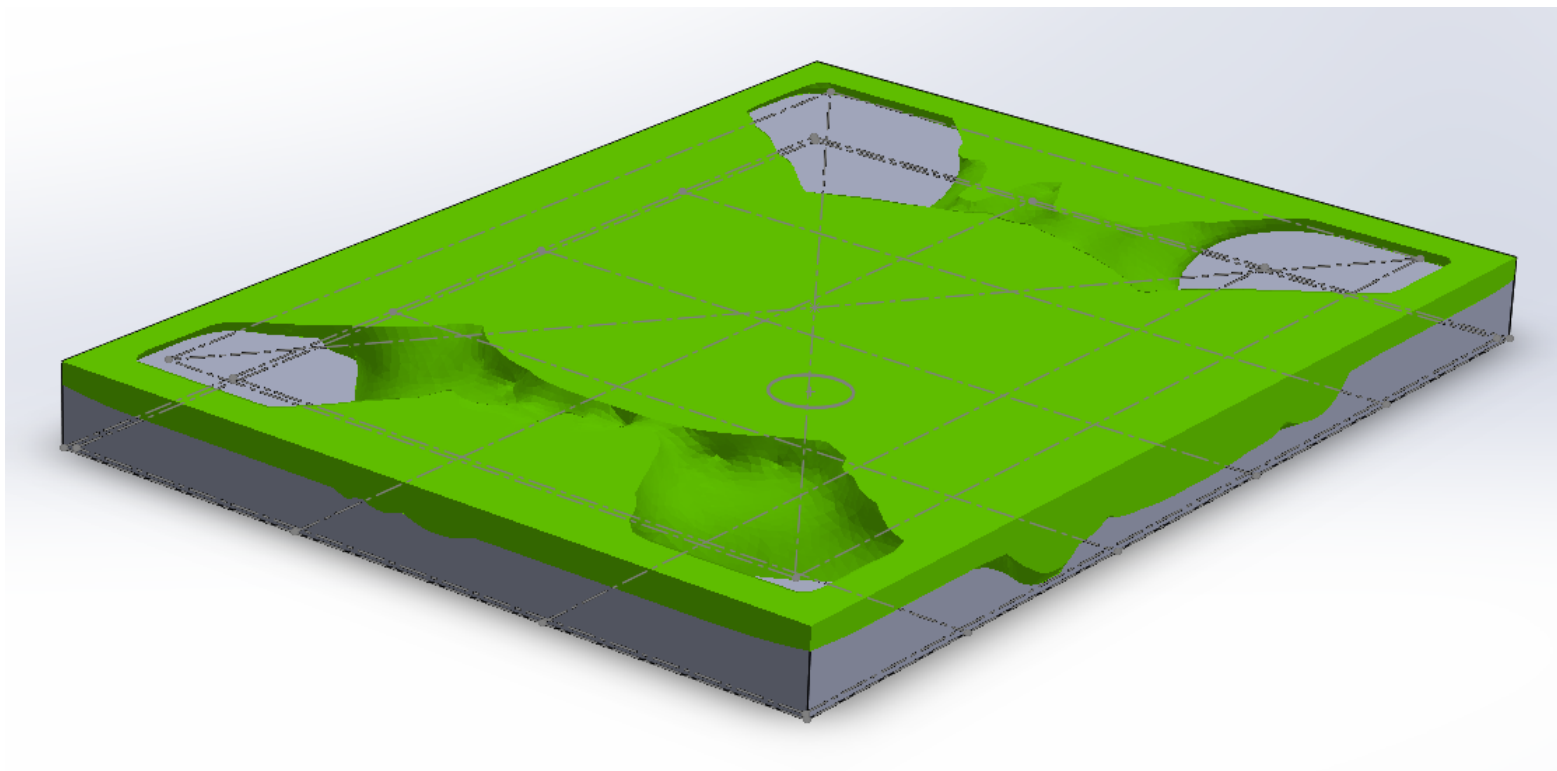
Front View



Right Side View



# Topology Study Results as Design Guide

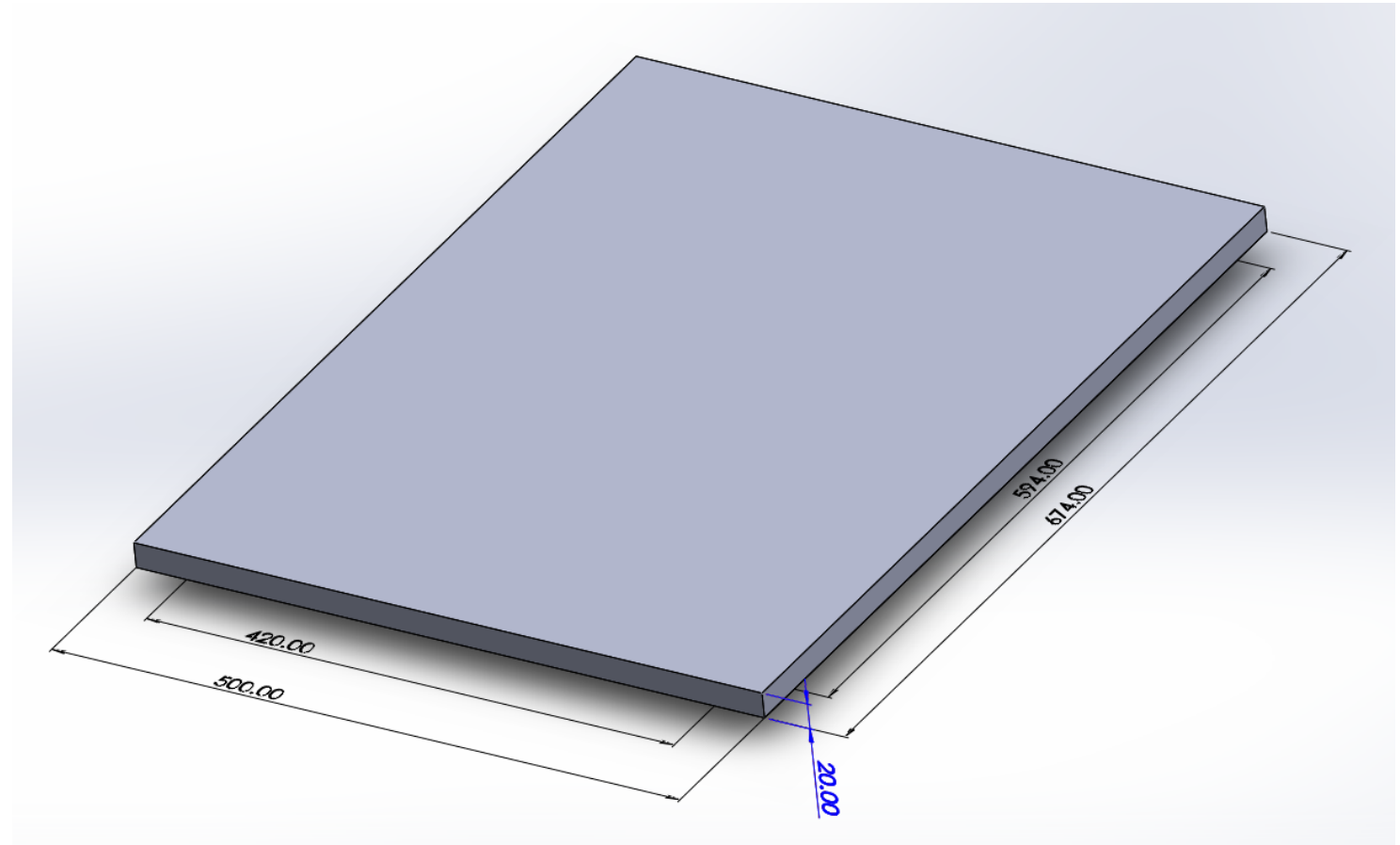
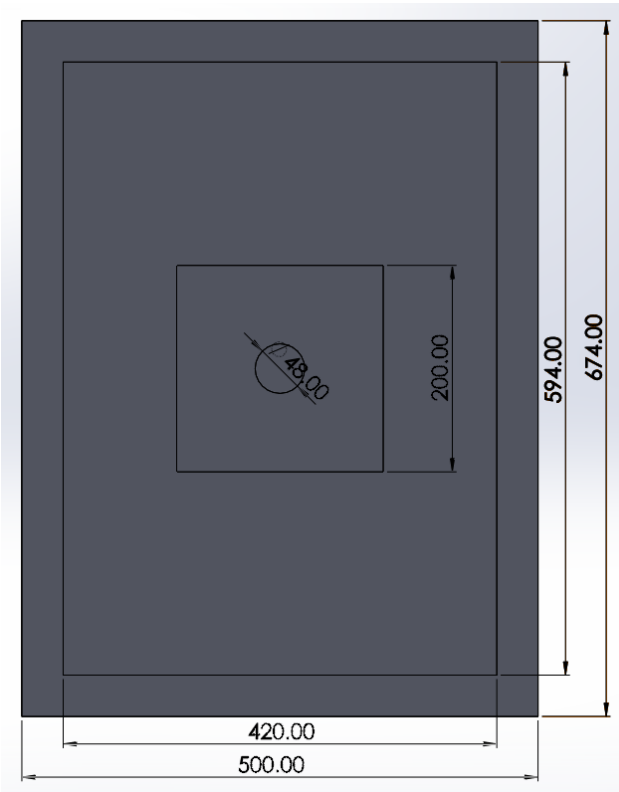
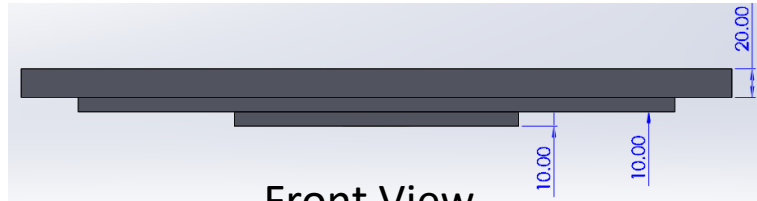


# Design Modifications derived from Topology Study

- Based on the design guide from the topology study, a design using layered plates was made
- Then a stress simulation was done on the design using 20 ton force

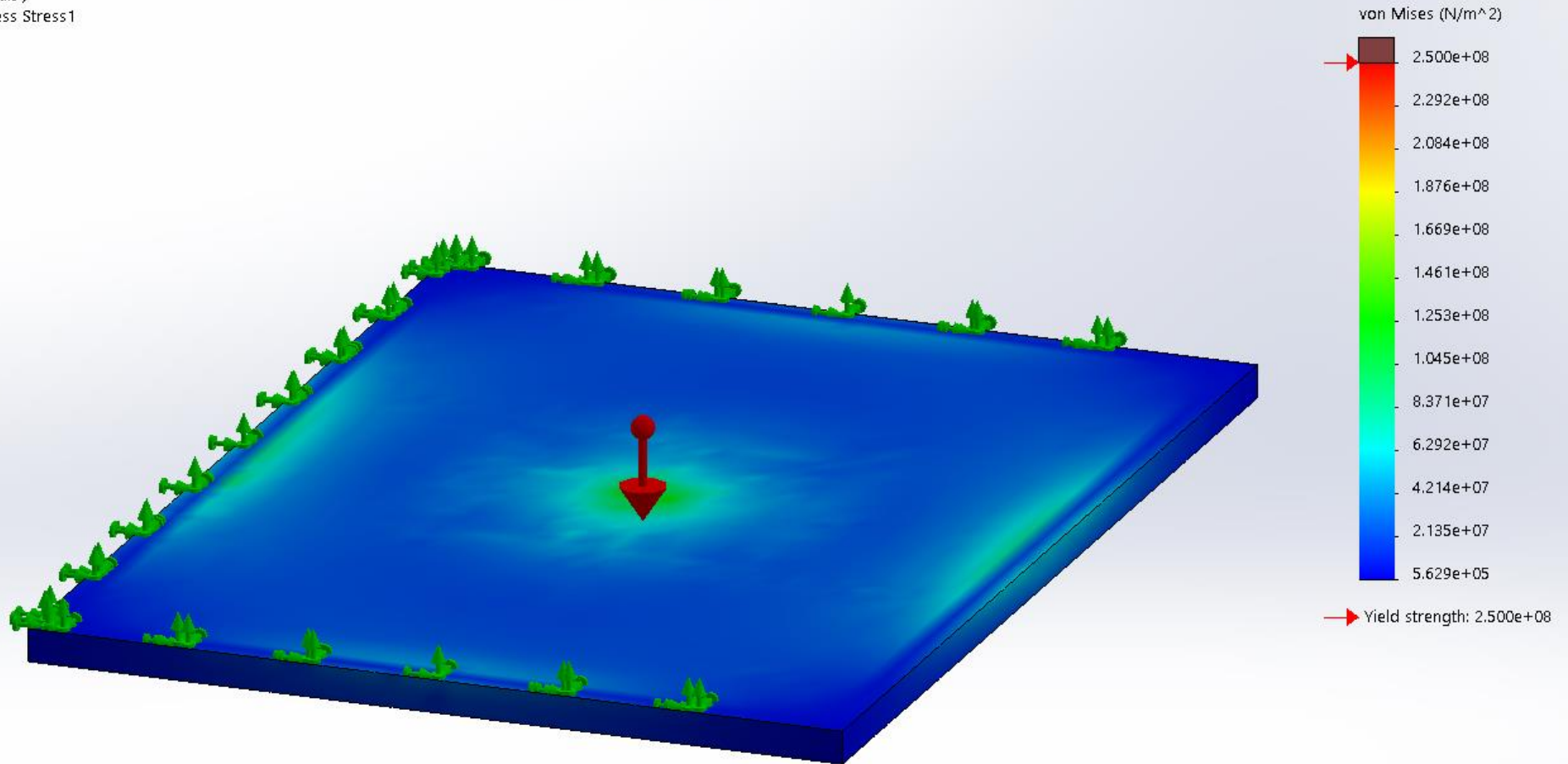


# Layered Plate Design

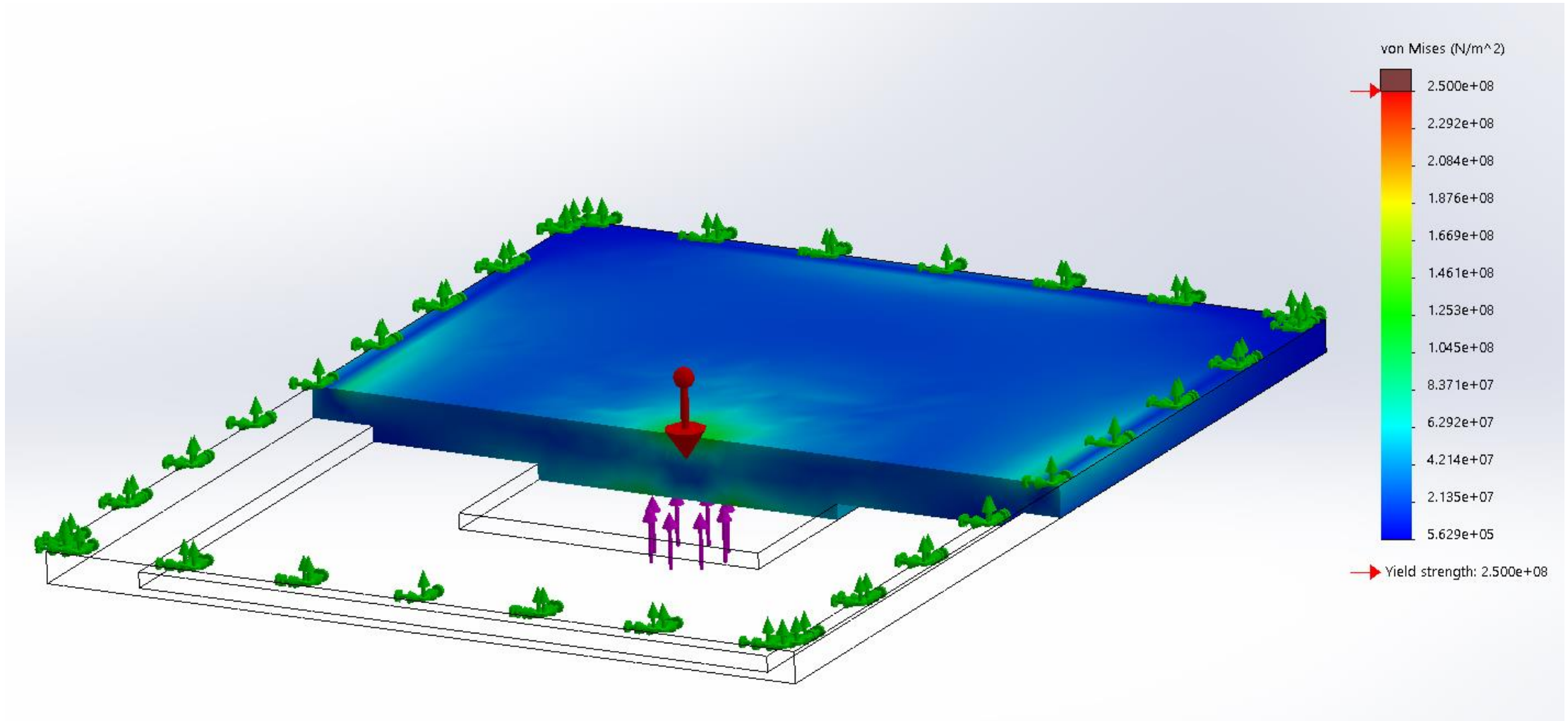


# Applying Stress Analysis on the Modified Design (Top)

Model name: heat plate cover topology study version 03  
Study name: Static 2(-Default-)  
Plot type: Static nodal stress Stress1



# Applying Stress Analysis on the Modified Design (Cross Section)

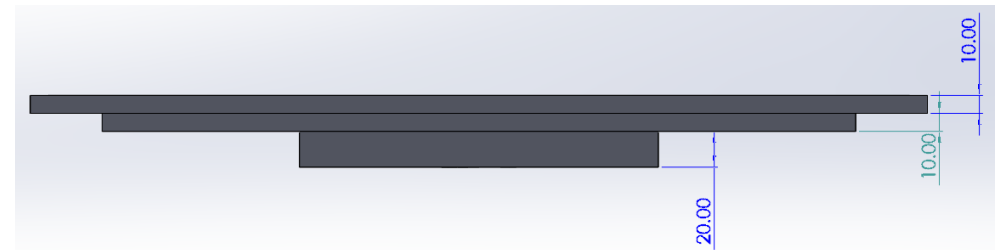


# Observations

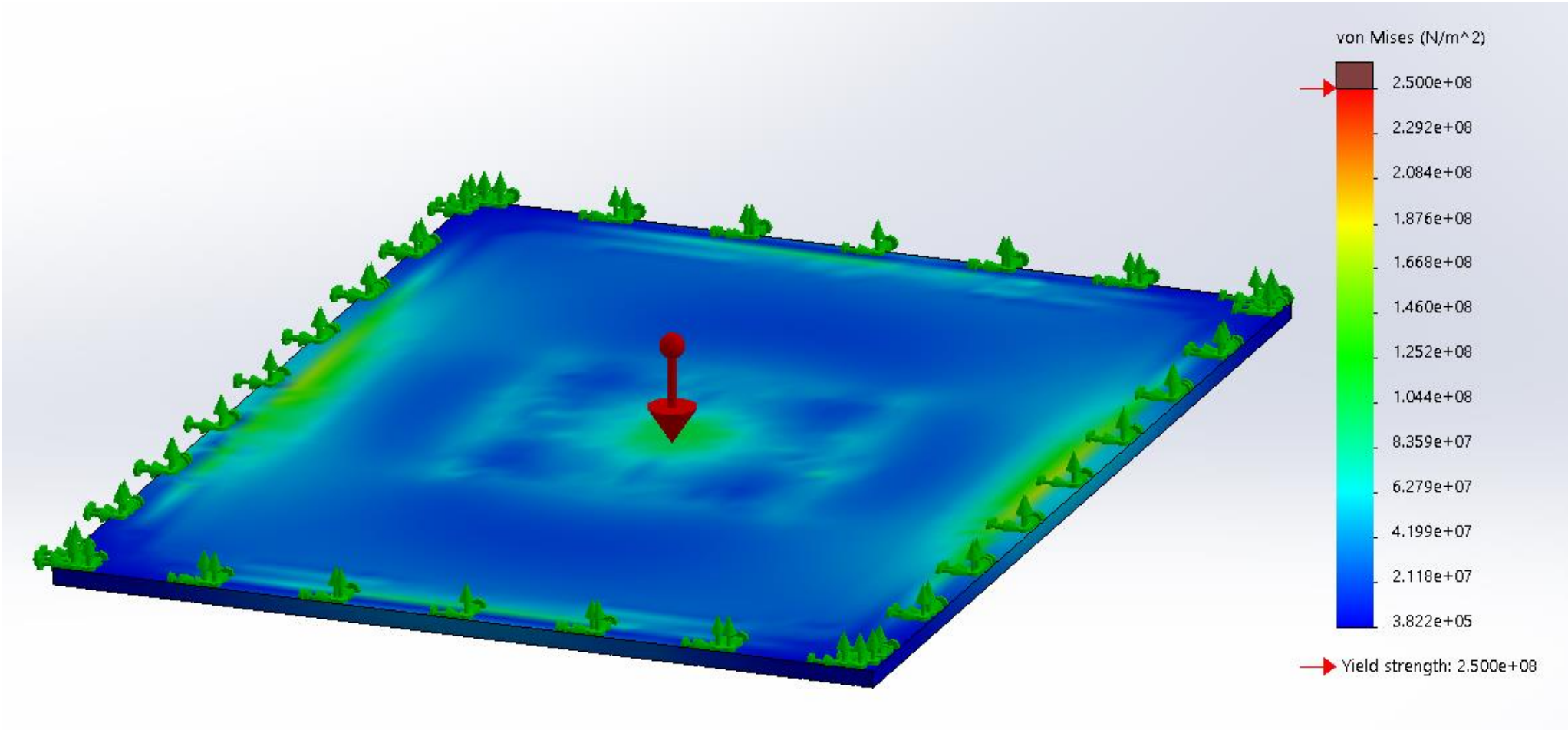
- The simulation results shows that the design do not let the materials exceed the yield strength.
- Evaluating the mass of the design gives a total mass of 9634.80 grams

# Further Modifications

- To try to further reduce the mass while keeping the part from going beyond the yield strength, the top layer was reduced while the bottom layer was increased

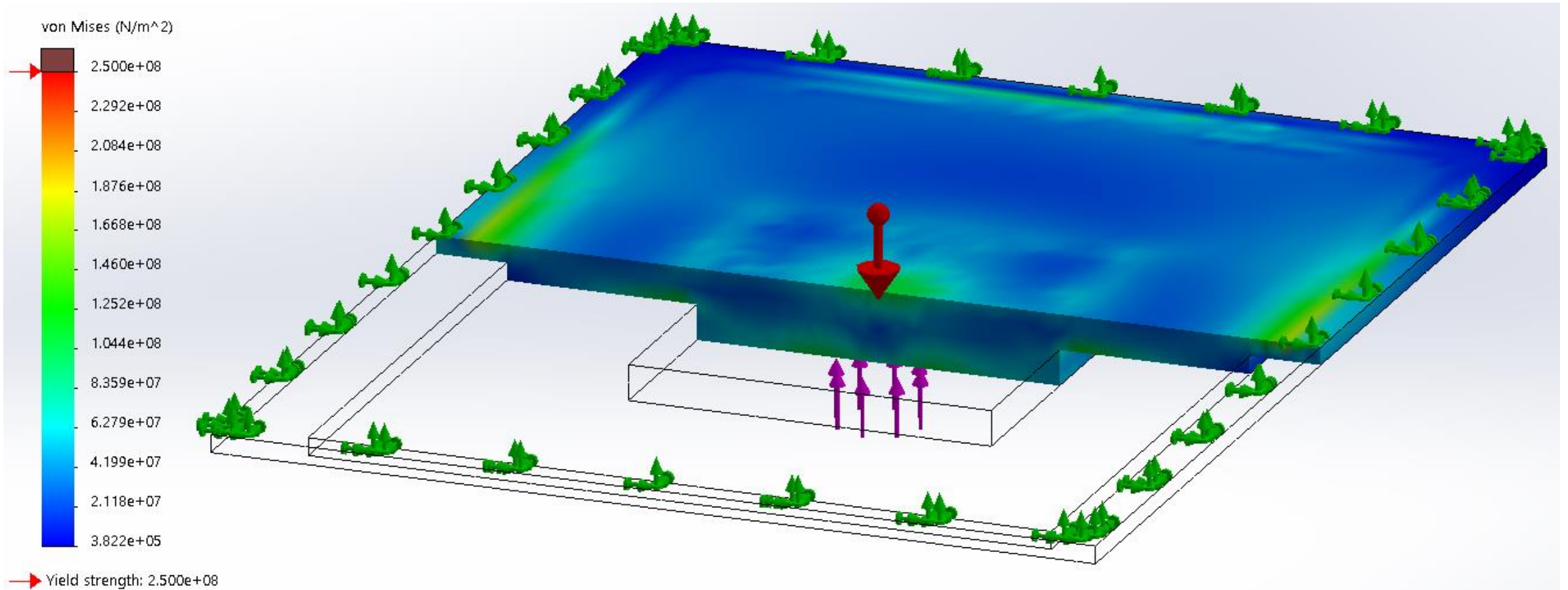


# Stress Results of Further Modifications





# Stress Results of Further Modifications (Cross Section)



# Observations

- The design modification still gives satisfactory results as shown in the stress plot
- The evaluated mass after the modification is now 6705.30 grams