

第5回CMI Symposium

17/10/2017

13:40-14:15

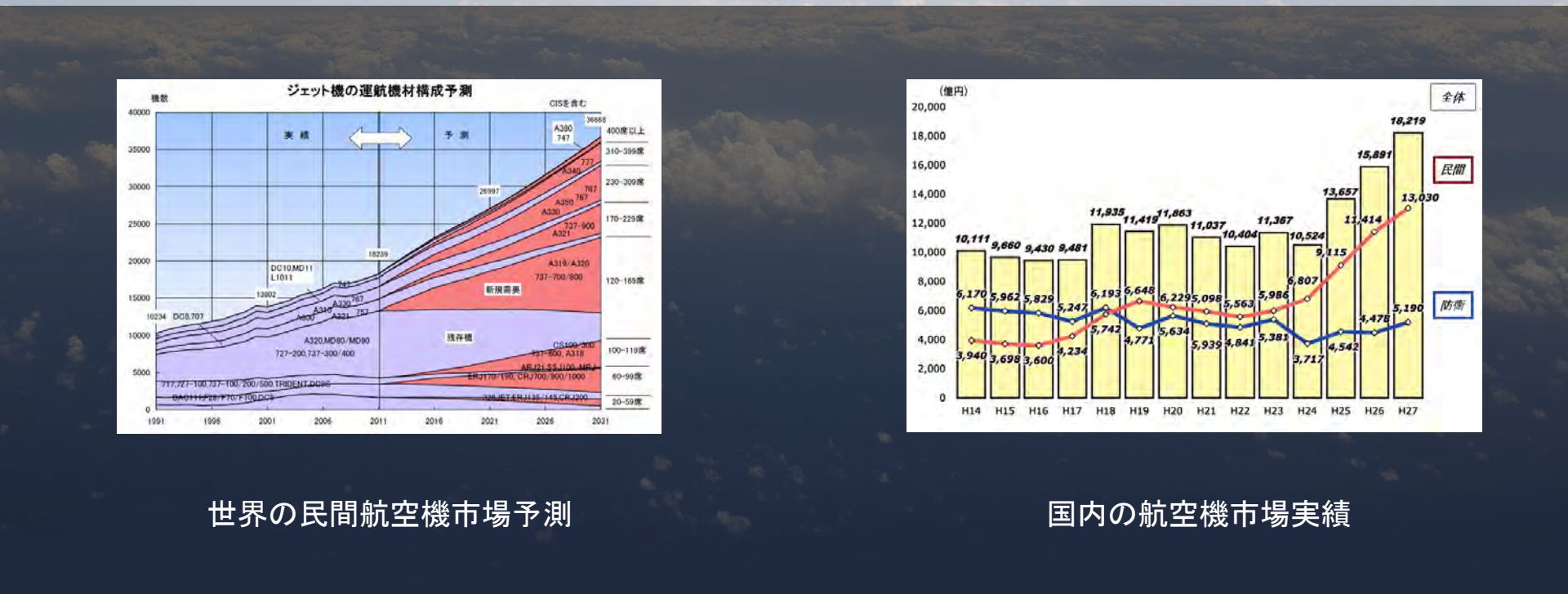
CMI 研究開発の成果について

東京大学生産技術研究所
柳本 潤

内容

- CMI の概観
- 現在の研究テーマ
- 研究体制
- 柏への一部移転と展開
- 研究成果の紹介:LFW of Titanium Alloy

CMIの概観



産学官連携により 競争力の有る早期技術開発を目指す



産業界(25社)

Boeing
三菱重工
川崎重工
SUBARU
DMG森精機
SANDVIK
オーエスジー
住友電工ハードメタル
三菱マテリアル
東レ
神戸製鋼
出光興産
不二越

徳田工業
岩戸工業
ヤシマ
水野鉄工
協立機工
エーシーエム栃木
平和産業
丸隆工業
エヌ・ティー・エス
KSI
福田交易
佐渡精密

大学

東京大学 生産技術研究所
東北大学
東京農工大
東京電機大
新潟県工業技術総合研究所

官・行政

経済産業省
製造産業局
航空機武器宇宙産業課
NEDO
材料・ナノテクノロジー部

現在の研究テーマ

世界最先端の高度な航空機製造技術開発により、高付加価値の航空機づくりを目指し、我が国の産業及び経済、環境保護、学術の発展に貢献する。

熱間成形、接合
・チタン合金



環境対応

非破壊検査
・CFRP 部品

CFRP



高速切削
・CFRP
・チタン合金
・Al-Li 合金

高効率化
国際競争力向上



航空機の革新的製造
技術開発

高付加価値生産

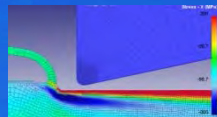


柔軟なシステム化
知能化



ロボット利用技術
・シーリング
・ミーリング

Al-Li 合金の高速切削

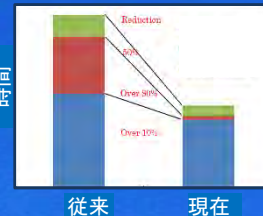


高速切削されたAl-Li
板材の変形を抑制す
るための仕上げ面残
留応力の解析

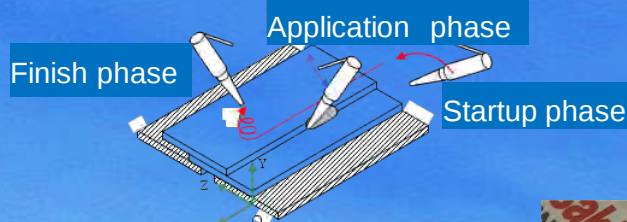
チタン合金のポケット加工



仕上げ時間の
大幅短縮



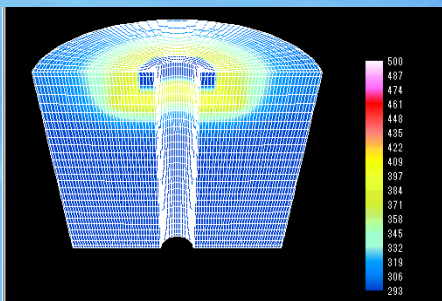
ロボットシーリング



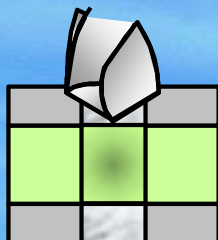
熟練技能者の動きをモーションキャ
プチャでとらえてロボットのシール
作業に利用



Ti合金 / CFRP / Ti合金の穿孔



熱損傷のないCFRPの穿孔のために予測したチタン合
金/CFRP/チタン合金積層材内部の温度分布



熱間ストレッチ成形



残留応力を最小化するチタン合
金板の熱間高速成形
(スモール試験)

ロボットミーリング



搬送用ロボット
(高速性能)



加工用ロボット
(高剛性)

高速スピンドルを使用したロボットによ
るミーリング

世界最先端の航空機製造技術開発により、高付加価値の航空機づくりを目指し、我が国の産業及び経済、環境保護、学術の発展に貢献する。



高能率化 国際競争力向上

高速切削(CFRP,チタン合金,
Al-Li 合金)
熱間成形、接合(チタン合金)



高付加価値生産

手仕上げ無しNC加工



知能化 柔軟なシステム化

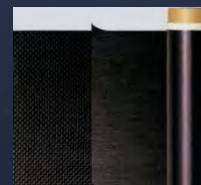
ロボット利用技術

- ・シーリング
- ・ミーリング



環境対応

非破壊検査(CFRP)
リサイクル(Al-Li合金)



生産技術スキル



生産科学



高効率生産技術

飛躍的な高度化



研究テーマ (FY2017)

1. 先進アルミ合金の切削加工技術開発(手仕上げ不要な切削加工技術の開発)
 2. Al-Li合金切削:機械加工後の歪最小化のための高精度加工技術の開発
 3. 炭素繊維複合材の切削加工技術開発
 4. Additive Metal Processing(金属接合プロセス)
 5. ロボット切削システムの開発
 6. ロボットシーリング
 8. 炭素繊維複合材に適した非破壊検査技術の開発
- New 1. チタン合金切削(オービタル穿孔)
- New 2. メタルデポジション
- New 3. アルミ合金の残留応力・変形制御

他にFS4件、黄色はNEDO PJ

ADVANCED MACHINING

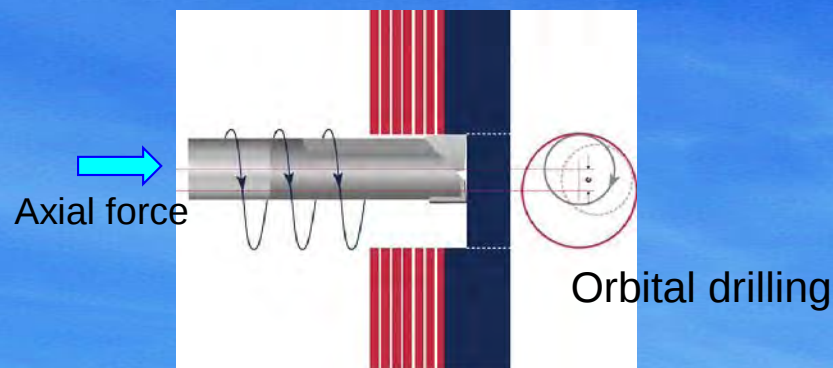
Robotic Milling

- Milling with a spindle installed on a robot.
- Replace chemical milling to machining process.



Orbital Drilling

- Drilling with an end mill in helical motion
- Reduced cutting temperature, increased throughput, improved hole surface quality, reduced tool costs
- Decrease in fatigue strength



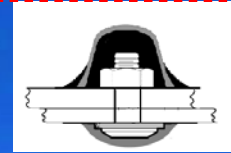
Metal Deposition

- Additive & subtractive integrated manufacturing

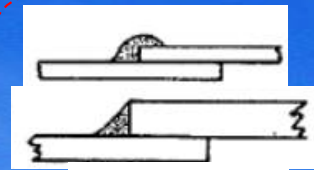


ROBOT SEALING

- Labor reduction with automated sealing application
- Stable quality without workers skill
- Sub assembly and/or work piece which have enough clearance to apply sealing



Fastener seal



Fillet seal



Analysis of skilled workers' operation.



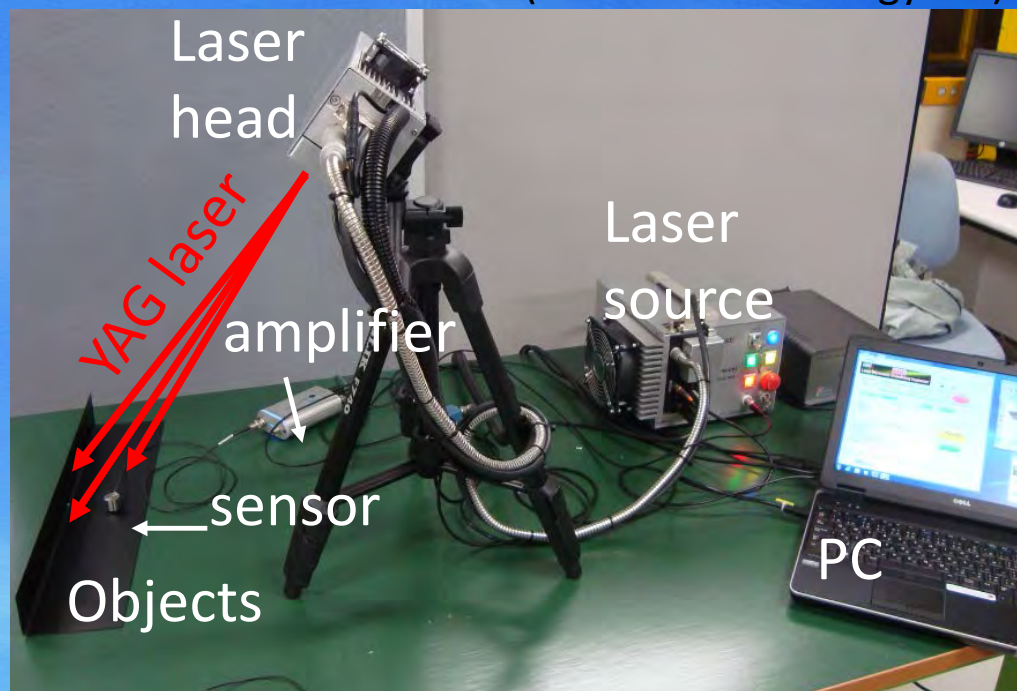
Determine optimal seal gun path.



Automatic process by a robot.

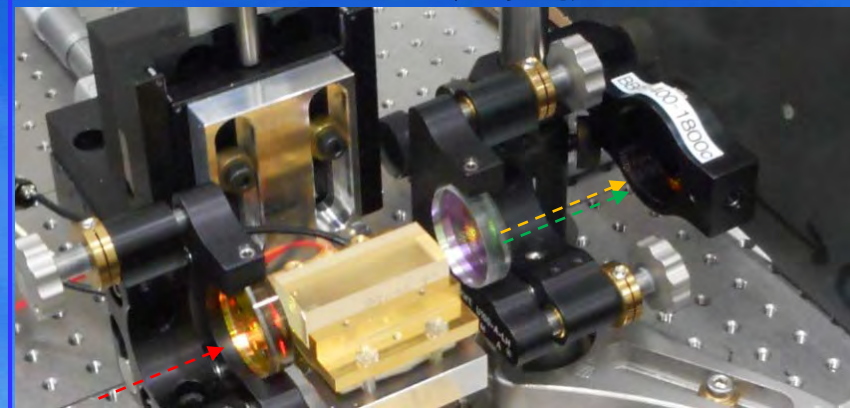
炭素繊維複合材料の非破壊検査 レーザ超音波可視化技術

Laser Ultrasonic Visualizing Inspector (Tsukuba technology co.)



Maximum output power	0.65 μ W
wavelength	1.064 μ m
Pulse length	2 nsec
Diameter of beam	$\sim$ 0.5mm
Distance of inspection	0.1 $\sim$ 4m

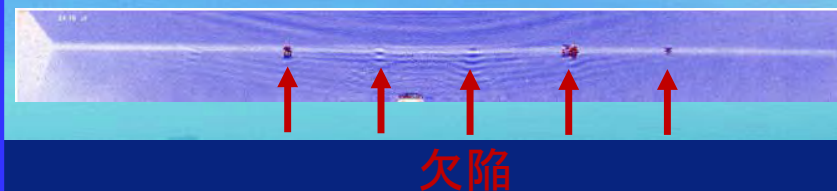
レーザ波長変換



複雑形状の検査



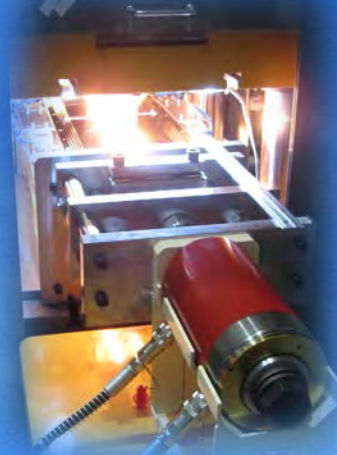
可視化



テーマ1: 熱間ストレッチ成形加工技術の開発 (FY2013~FY2016)

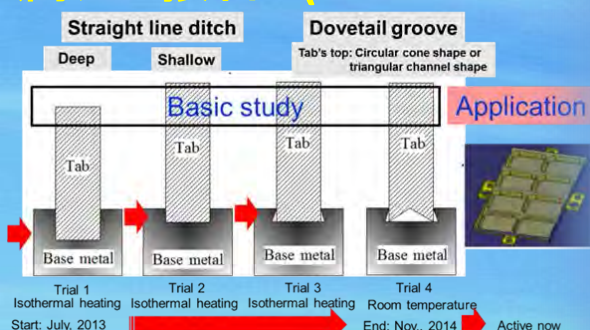


Hot
Stretch
Forming
Test
Machine



CMIでは、引張応力を加えながら成形し、ニアネットシェイプを形成することにより、残留応力の低減及びコスト削減の可能性を検証している。

テーマ2: チタン合金ブロックへの金属タブ接合 (FY2013~FY2014)

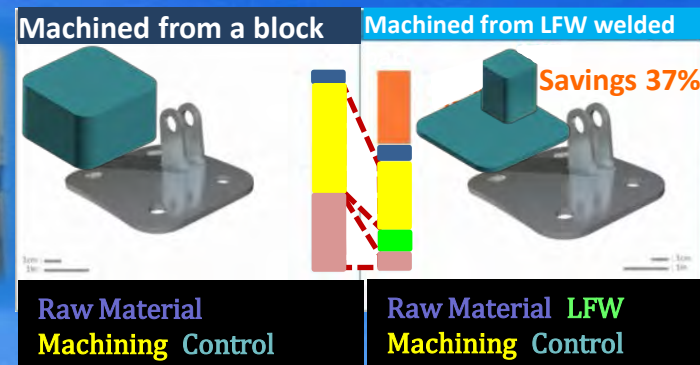


チタン合金ブロック側面に鋼やステンレス鋼などの金属タブを取付け、切削加工に耐えられるタブ接合が検討した

テーマ3: 線形摩擦接合 (LFW) させた64チタン継手の接合特性評価 (FY2014~)

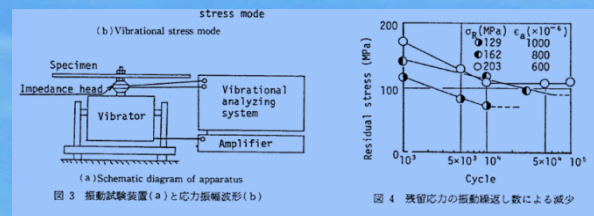


LFW継手



- LFWによりニアネットシェイプを作成することにより歩留まりを向上させたデモ部品を試作し、コストを削減する
- Butt接合について、航空機設計基準の試験方法に基づいた種類の材料特性評価試験を実施しデータを取得する

テーマ4: アルミ合金部品の残留応力及び歪取り自動化技術 (FY2017~)



Sources:
The Behavior of Vibrational Surface Residual Stress Relief in FC25 Cast Iron [in Japanese]
NAKAGIRI Akikazu
Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. A 50(452), 751-757, 1984-04-25

- 残留応力に起因する機械加工後の歪みを抑制するために、加工前の材料段階でシートヒータ等による加熱や加振器による振動付与で予め残留応力を除去する

研究体制

- 教授 3名(兼務)、准教授2名(兼務)
- 特任教授 1名(専任)
- 特任講師 1名(専任)
- 研究員 9名

- CMI関係者 (As of May, 2017)

東京大学生産技術研究所	25名
関連研究機関	13名
企業メンバー	109名
合計	147名

東京大学生産技術研究所

切削加工についての学術研究を先導しつつ産業界に柔軟に幅広く対応し、加工基盤研究ならびに教育の一翼を担うことができる経験豊かな教員と研究室（柏地区）が必要.



氏名：臼杵 年（うすき ひろし）

性別：男

国籍：日本

生年月日：1958年1月19日（59歳）

学位：1995年 博士（工学）取得 広島大学

学位論文題目「焼結金属，高強度チタン合金及び高強度アルミニウム合金の被削性と最適工具材料に関する研究」

職歴：

1985年4月～1997年3月

広島大学工学部 助手

1997年4月～2006年3月

島根大学総合理工学部 助教授

2006年4月～現在

島根大学総合理工学部・総合理工学研究科 教授

2017年8月1日

東京大学生産技術研究所 教授 発令（切削加工学分野）



拠点

- 柏

切削加工関連研究課題

成形加工関連研究課題

- 駒場

組み立て関連研究課題

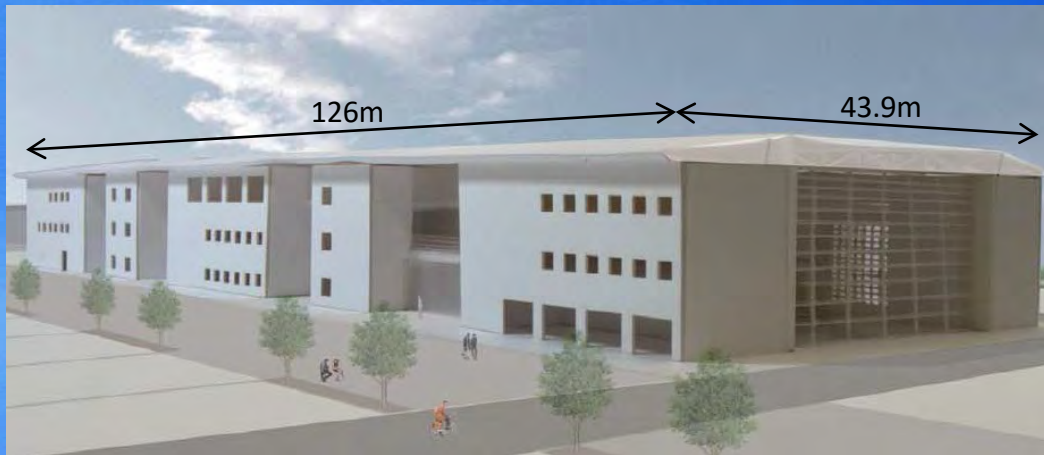
- 再委託先(小金井、新潟、北千住)

アルミおよびCFRP切削関係研究課題

柏に集約したいが部屋と面積が不足している

柏への一部移転と展開

Relocation of CMI to Kashiwa



移転先

実験棟1階の実験区画

「高次機能加工学」のエリア

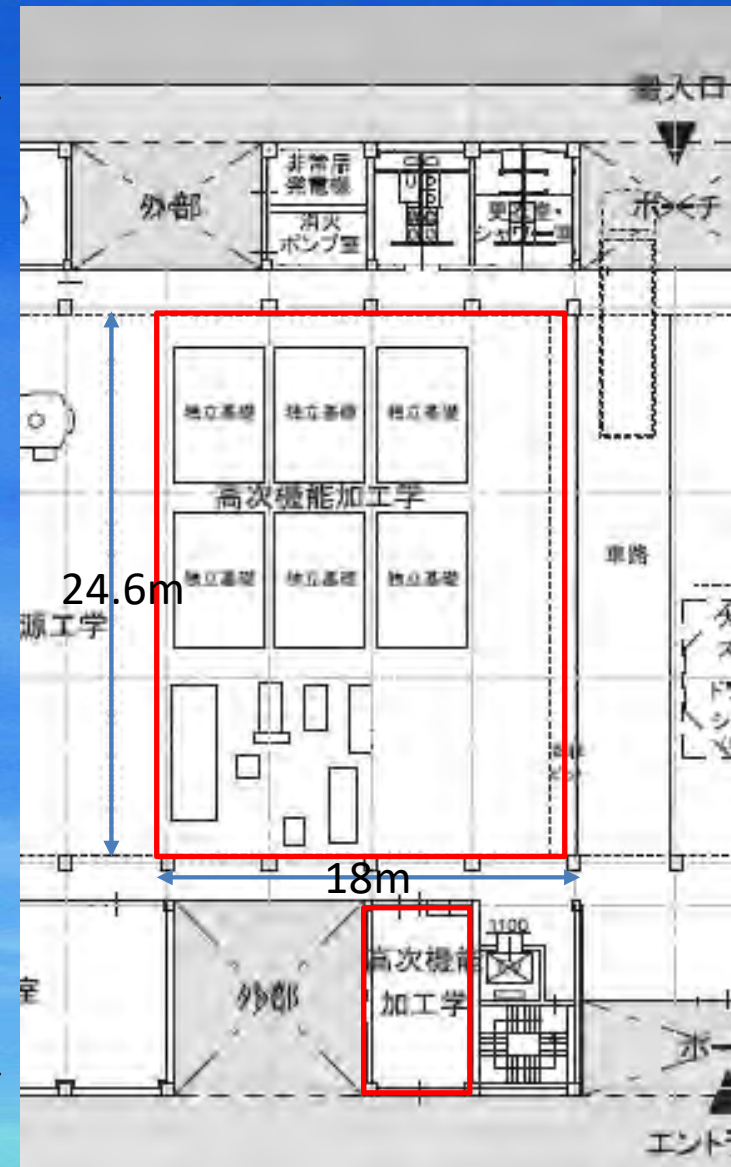
当該実験区画に6個の独立基礎を準備

Allocated area at June 5th:

- Experimental area on the 1st floor is about 450m².
- Sitting room on the first floor (Room s301) is about 40m².

43.9m

North



1階平面図

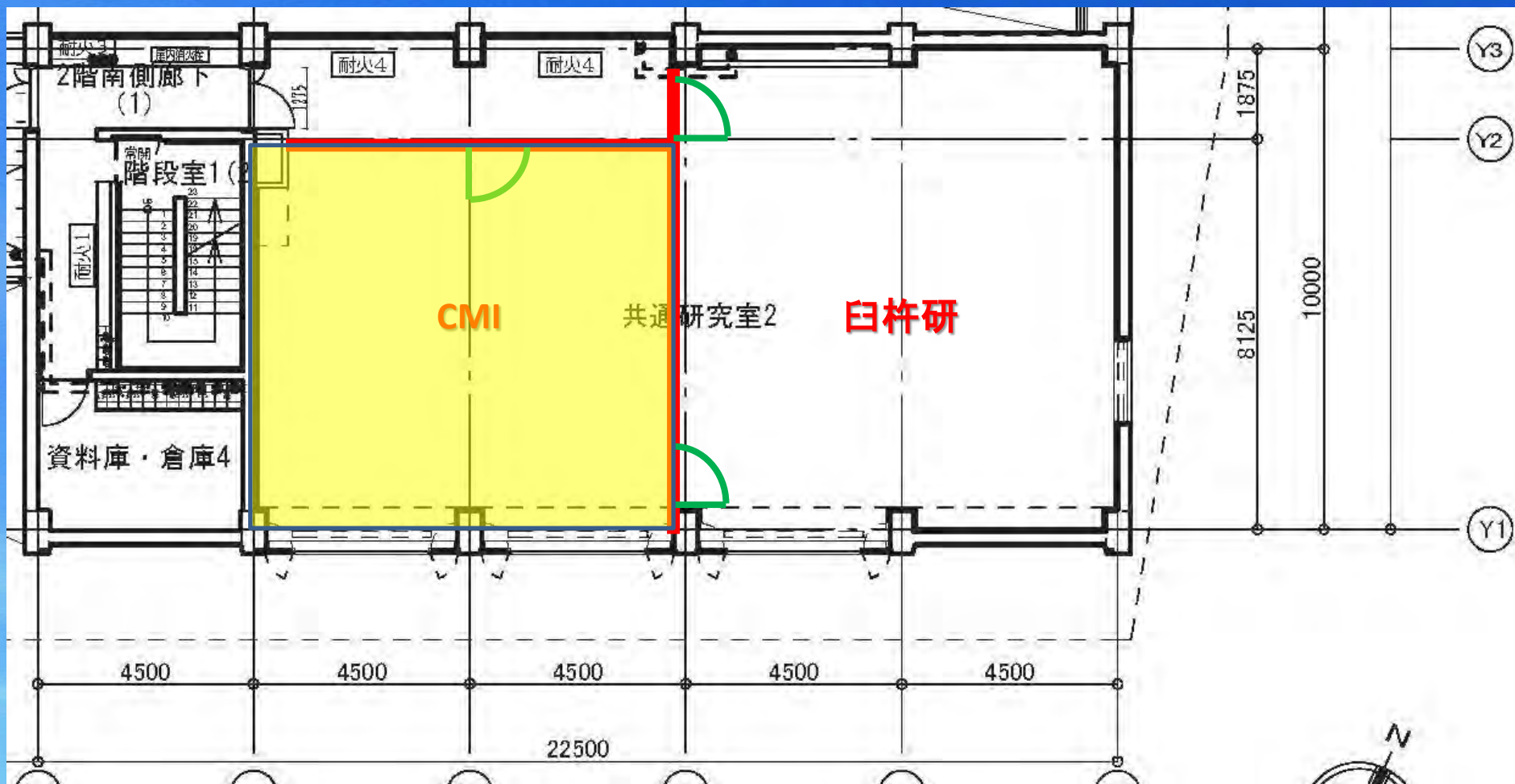
Area kept for new building, ca 50m*40m.



研究テーマ (FY2017)

1. 先進アルミ合金の切削加工技術開発(手仕上げ不要な切削加工技術の開発)
 2. Al-Li合金切削:機械加工後の歪最小化のための高精度加工技術の開発
 3. 炭素繊維複合材の切削加工技術開発
 4. Additive Metal Processing(金属接合プロセス)
 5. ロボット切削システムの開発
 6. ロボットシーリング
 8. 炭素繊維複合材に適した非破壊検査技術の開発
- New 1. チタン合金切削(オービタル穿孔)
- New 2. メタルデポジション
- New 3. アルミ合金の残留応力・変形制御

赤字は駒場、黄色は柏で実施



柏s201(研究員室) 2017年8月より 企業研究者の常駐も可能

小括

- **CMI の概観**→見える化の推進、研究成果の公開による見える化の推進は今後の課題
- **現在の研究テーマ**→終了課題と新課題追加
- **研究体制**→新たな研究員採用による拡充
1研究課題に1名のコーディネーターと1名の補助研究員の体制が完成
- **柏への一部移転と展開**→完了したが、柏への集約には新たな建物が必要か

EXAMPLE OF RESEARCH RESULT:

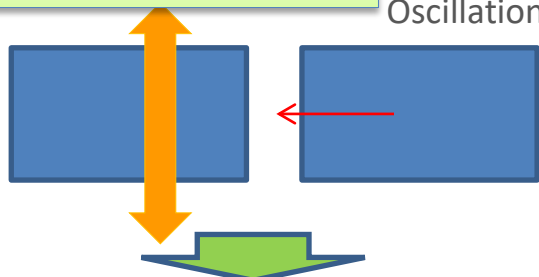
CHARACTERIZING LFW JOINING STRENGTH OF Ti-6Al-4V (Ti64) ALLOY

Sabrina Alam Khan*, Takuya Higuchi, Jun Yanagimoto

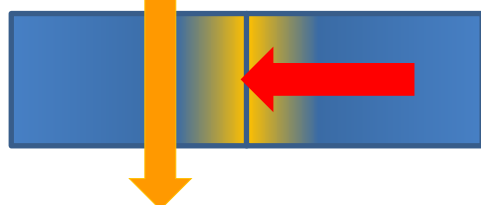
INTRODUCTION

LFW Process

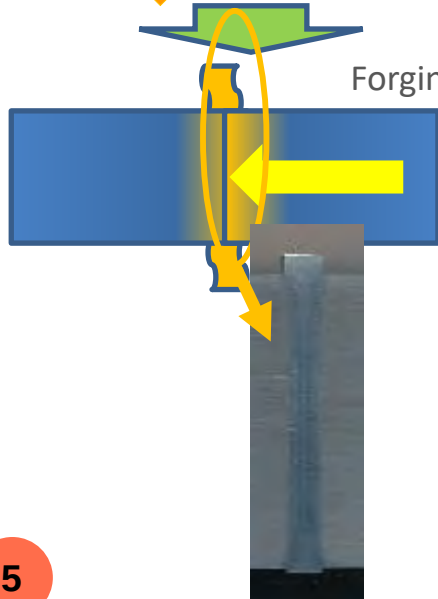
Oscillation Stage



Friction Stage

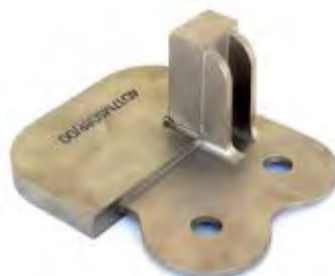


Forging Stage

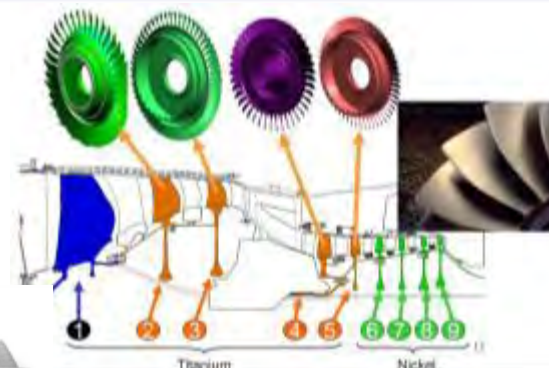


Applications

T-weldment



Integrally
Bladed Rotor



Sources:
<http://acb-netshape.mutuphp54.imagescreations.eu/>
MTU Aero Engines
Industrial share of Turkish Institutes for F-35 JSF

Manufacturing Cost Breakdown Comparison

Machined from a block



Machined from LFW welded part



Savings 37%

Raw Material Machining Control

Raw Material LFW Machining Control

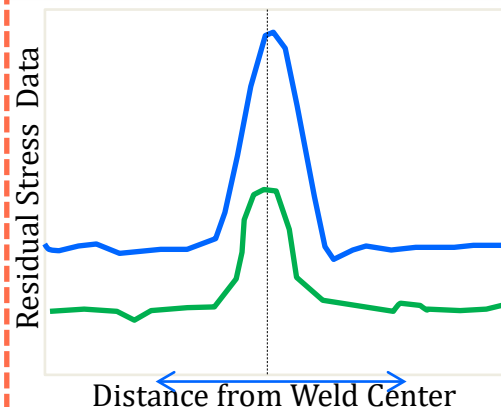
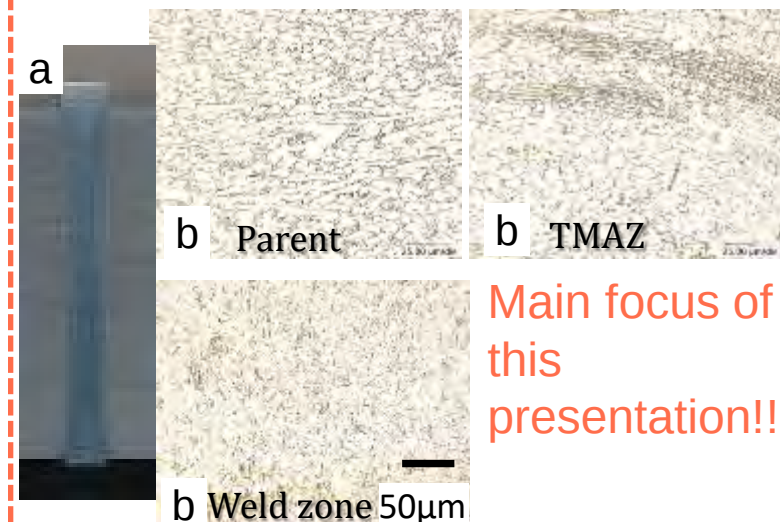
Source: TWI 3rd Seminar on LFW - ACB Piolle, (2015)

EVALUATION METHODS

- a. Macro Observation
- b. Microstructure observation

Residual Stress Measurement

Tensile Tests



Measurement Conditions

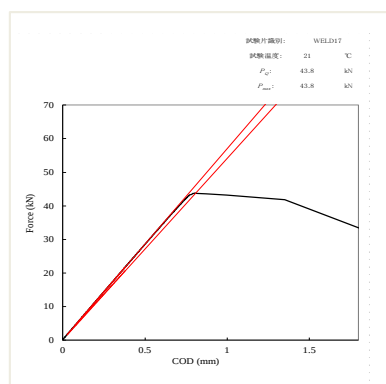
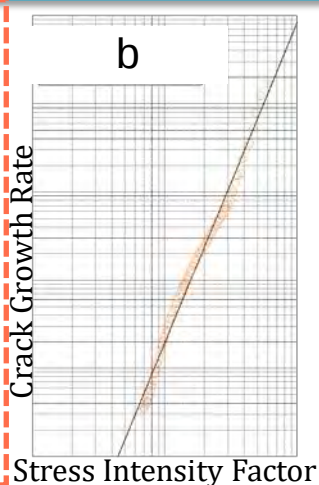
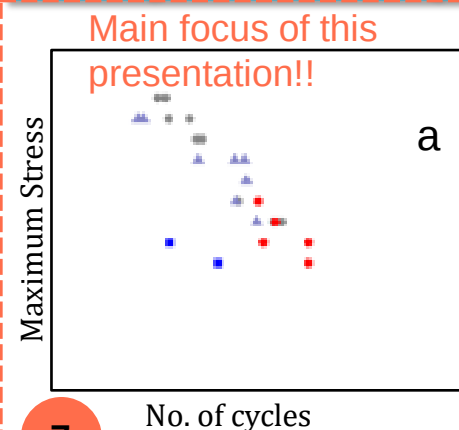
- Before Heat treatment
- Post weld Heat treatment



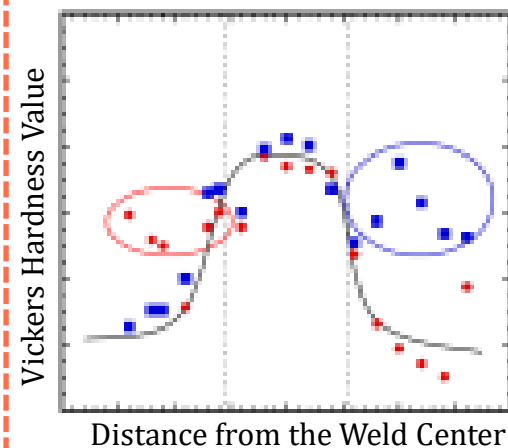
- a. Fatigue Tests
- b. Fatigue Crack Growth Tests

Fracture Toughness Tests

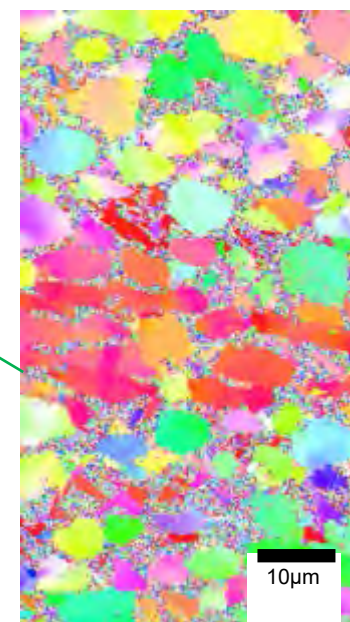
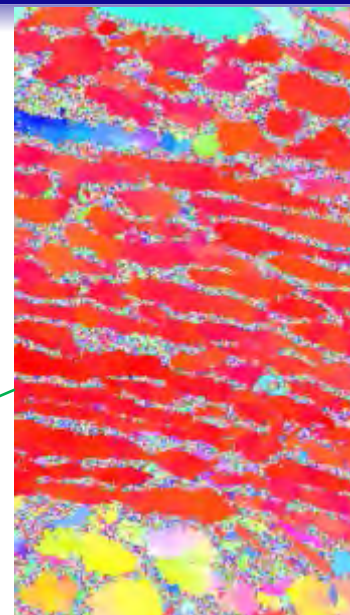
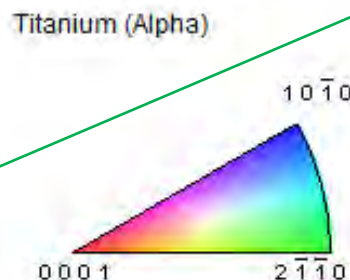
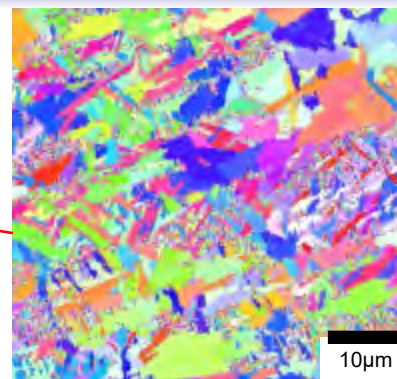
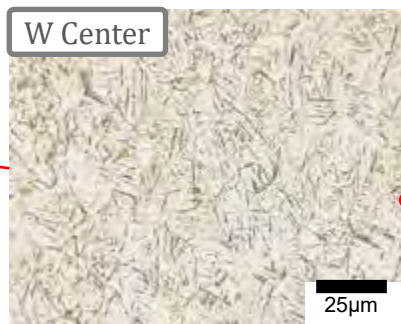
Hardness Measurement



Main focus of this presentation!!



MICROSTRUCTURE REVIEW (BUTT WELDMENT)



TMAZ: Thermo-Mechanically Affected Zone

The welding plane is inhomogeneous in the thickness direction.

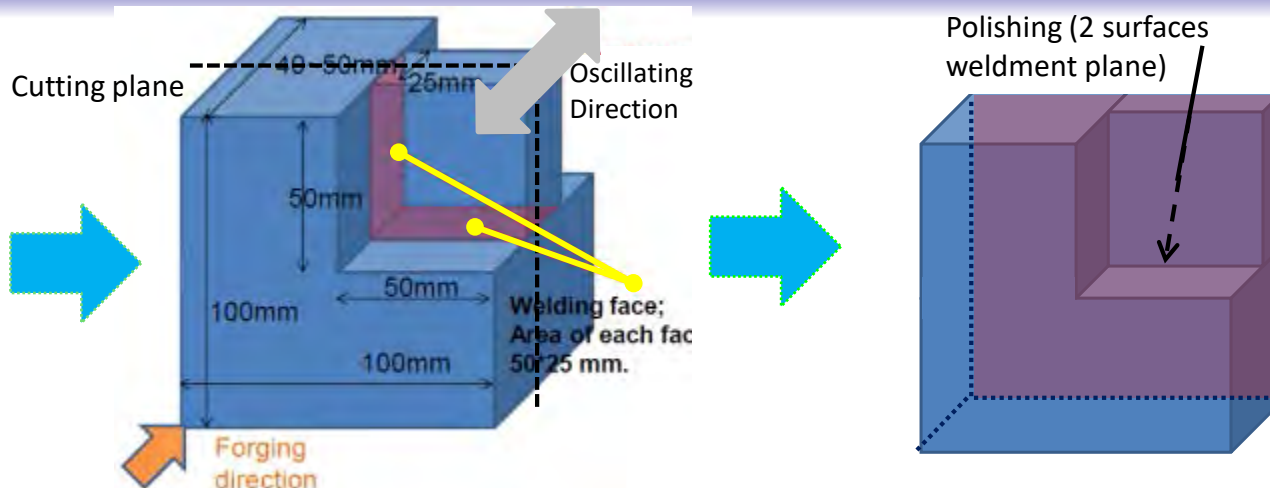
In the weld center the microstructure is martensitic. In the TMAZ region we can notice the band structure of the alpha beta.

There is no specific direction in the parent metal and in the weld center. The band structures are strongly aligned in the basal direction $\{0001\}$.

MICROSTRUCTURE REVIEW (2 SURFACES LFW)



Cut down the unnecessary portions of the LFW blocks

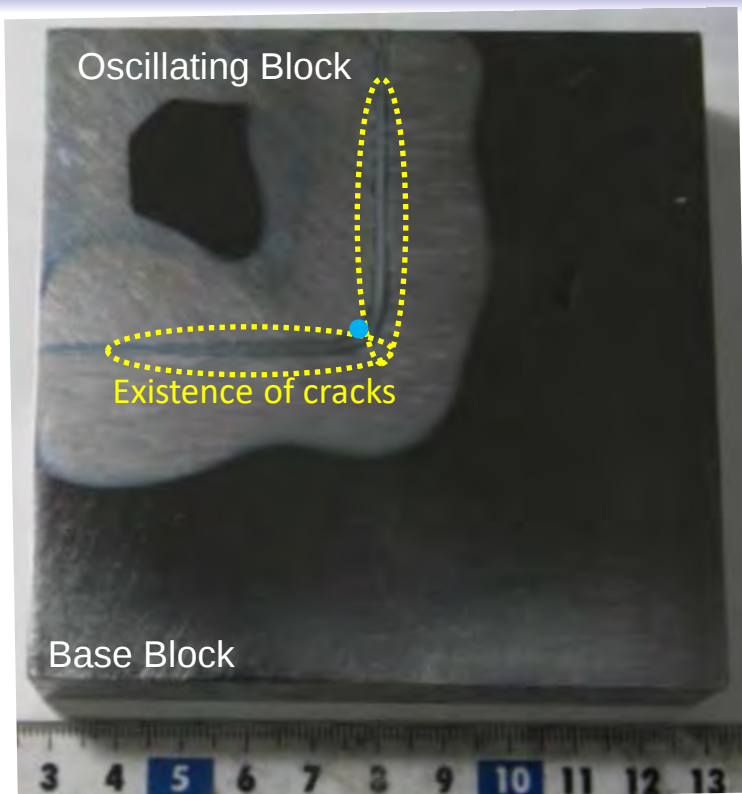


Observed Microstructure

Sample (No.)	Frequency, f (Hz)	Amp. A ($\pm$ mm)	Force, P (kN)
LFW1	4f	2A	1.5P
LFW2	3f	1.3A	1.5P
LFW3	4f	2A	1P
LFW4	4f	2A	2P
LFW5	5f	2.5A	1.5P
LFW6	2f	3A	1.5P
LFW7	6f	1A	1.5P
LFW8	4f	2A	1.5P
LFW9	4f	2A	1.5P
LFW10	4f	2A	2P

Results included in this presentation

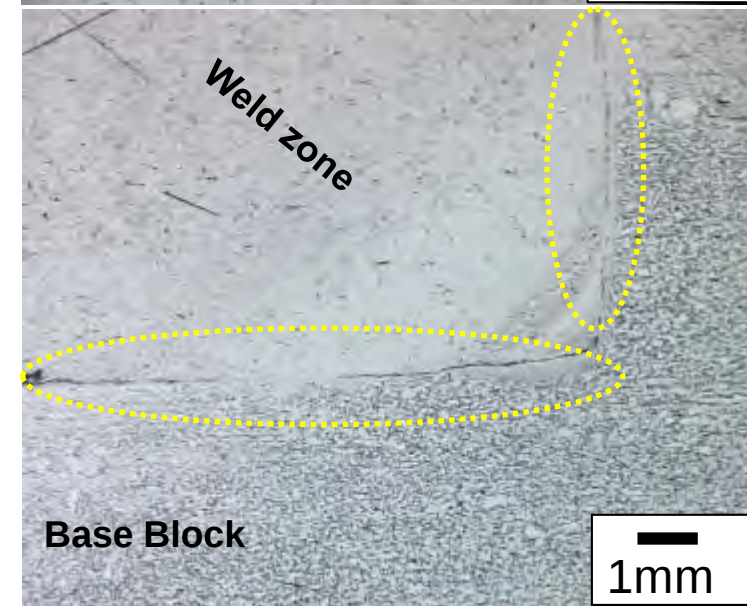
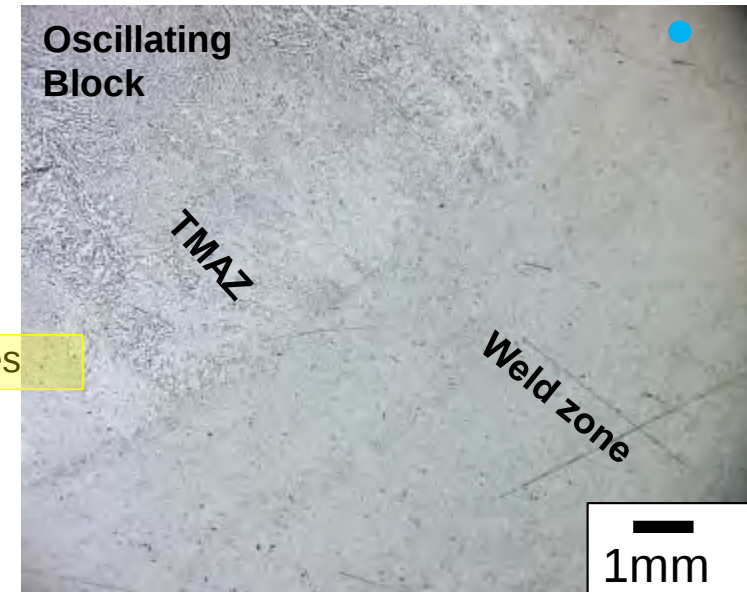
MICROSTRUCTURE REVIEW (2 SURFACES LFW)



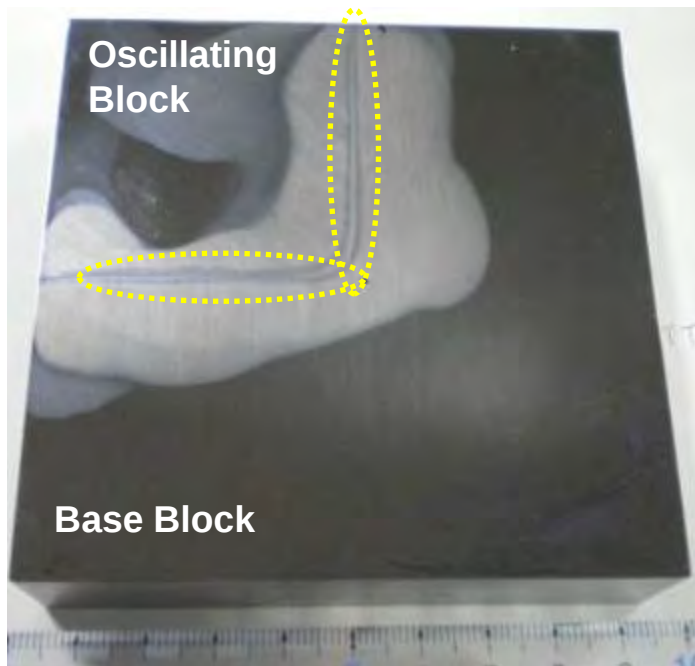
LFW 4

- Welding defect is detected at the center.
- TMAZ appears mainly at the oscillating block

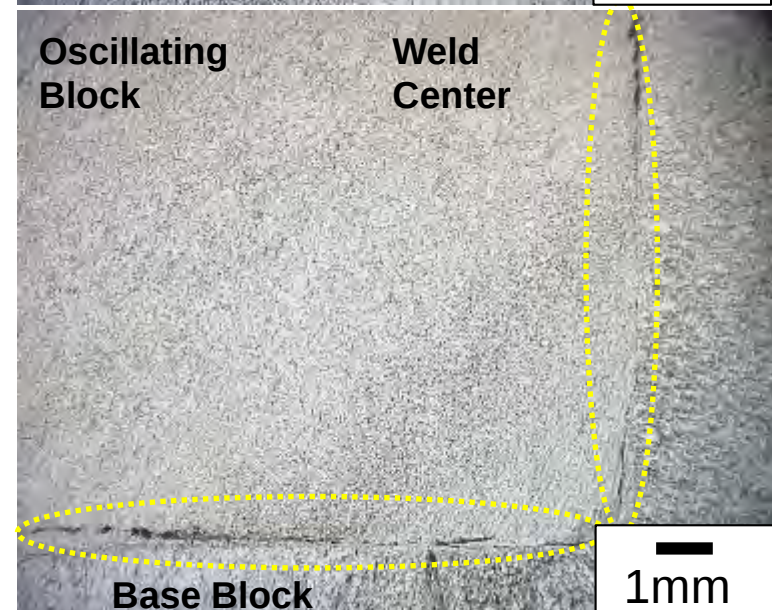
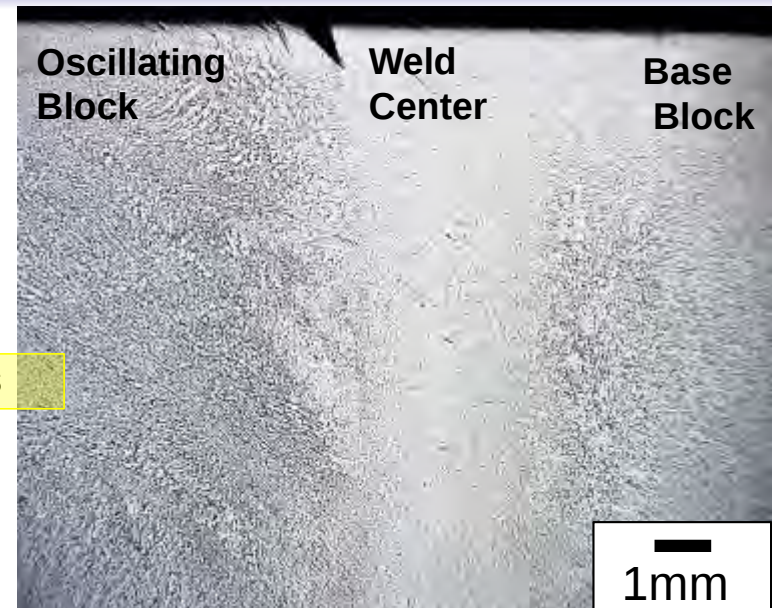
Magnified Pictures



MICROSTRUCTURE REVIEW (2 SURFACES LFW)



Magnified Pictures

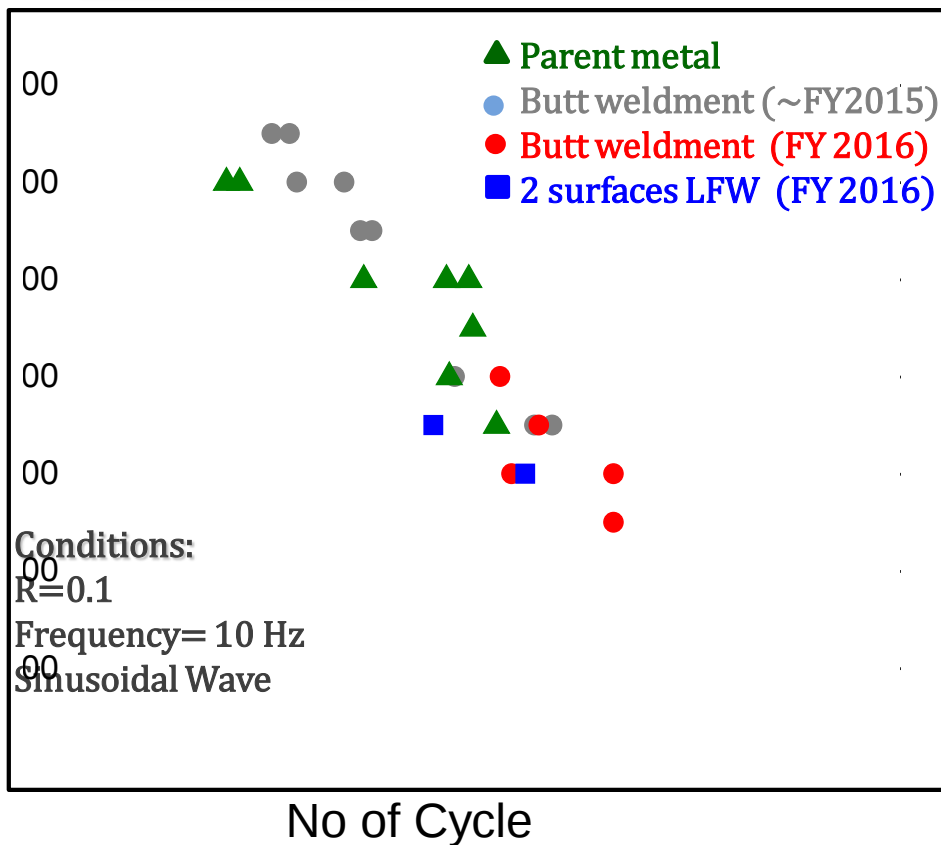


LFW 8

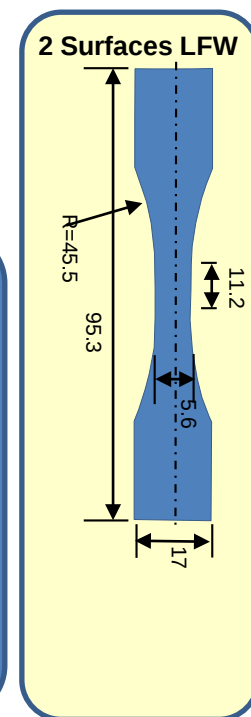
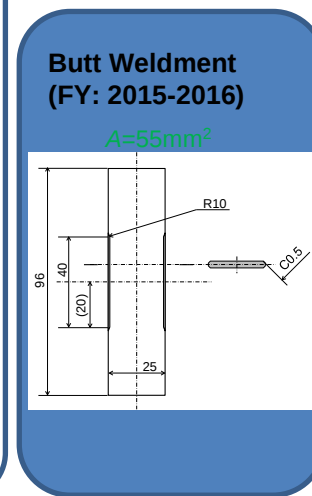
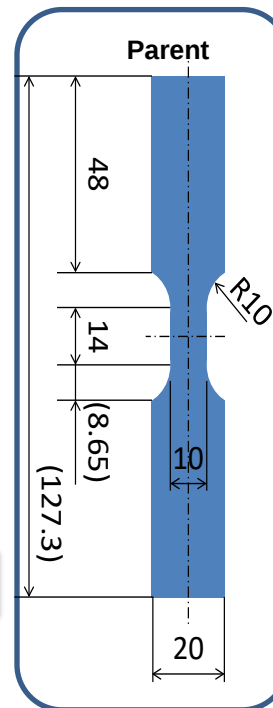
- ✚ Banded structure appears in oscillating block
- ✚ Low heat diffusion in the base block

FATIGUE TEST RESULTS

S-N curves



Machine



Specimens

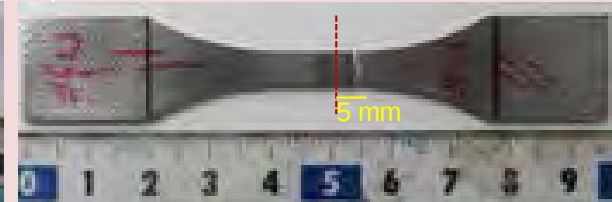
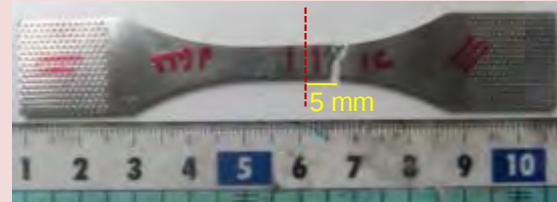
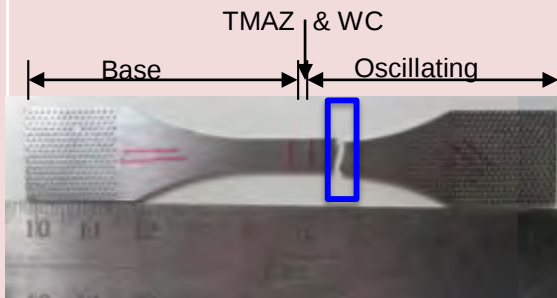
At each maximum stress fatigue lives of butt weldment and 2 surfaces weldment is almost similar to that of parent metal

FRACTURE SURFACE OBSERVATION (2 SURFACES LFW)

- Stage I: Cracks initiated from the oscillating blocks
- Stage II: Typical brittle type fracture
- Stage III: Typical ductile type "Cup-and-Cone" fracture

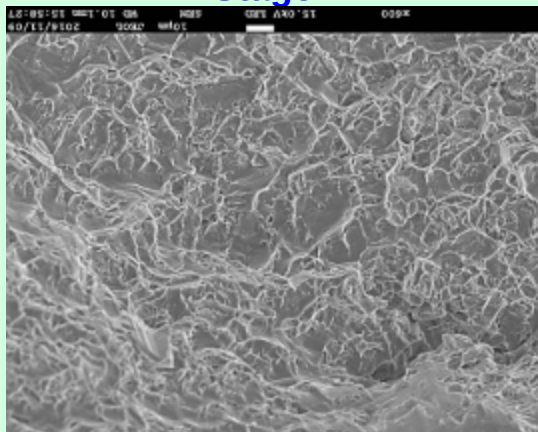
Fracture Surfaces

Macro

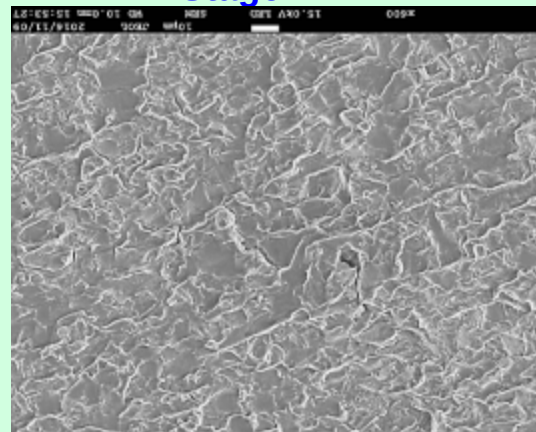


Micro

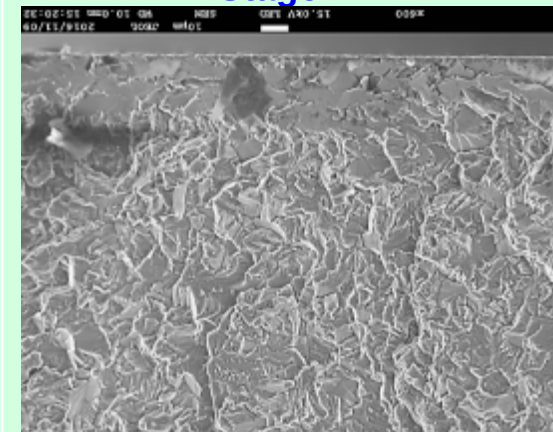
Stage I



Stage II



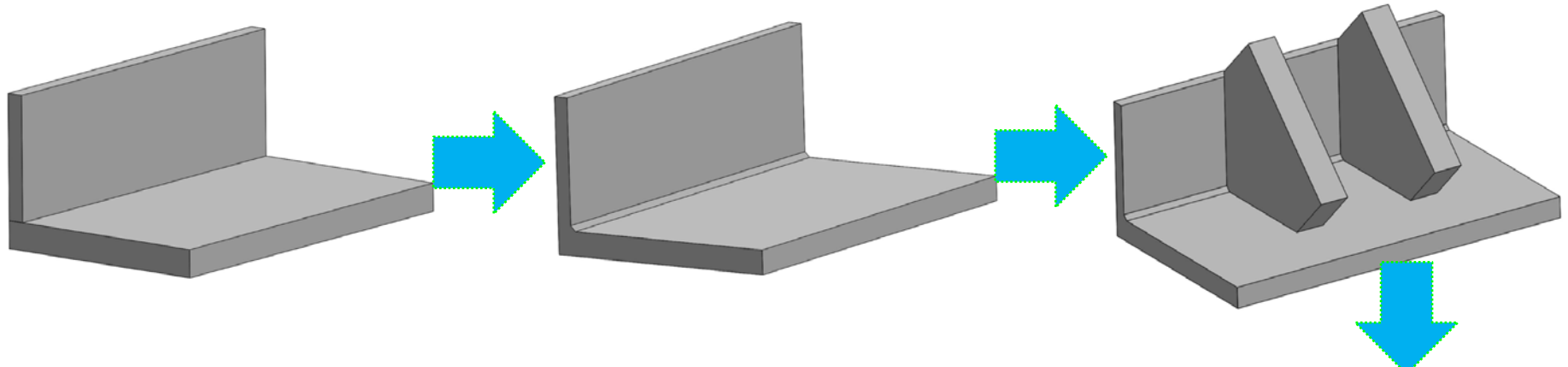
Stage III



Main point: No defects at the crack nucleated area → Hardness measurement

DEMO PARTS MANUFACTURING

This part is manufactured by the LFW machine of Kawasaki Heavy industry (KHI)



CONCLUSIONS

Microstructure Observation

- ✚ Welding defect is detected at the center.
- ✚ TMAZ appears mainly at the oscillating block

Hardness Data

- ✚ Distribution of “hard” β (bcc) phase and “soft” α (hcp) phase might be the possible reason for fluctuating data
- ✚ Distribution of β phase in the TMAZ region might also affect hardness value

Fatigue Data

- ✚ At each maximum stress fatigue lives of butt weldment and 2 surfaces weldment is almost similar to that of parent metal