

社団法人溶接学会 溶接法研究委員会
第200回記念 シンポジウム
「溶接プロセスの進歩とさらなる展開をめざして」

レーザ・アーク ハイブリッド溶接の展開

名古屋大学 工学研究科
沓名 宗春

1. ハイブリッド溶接の研究・開発

- ・ コンバインド（併用）溶接

1977年5月 日本特許：昭53—137044
「エネルギービームによる高速溶接法」（住友金属）

- ・ ハイブリッド溶接

1977年10月 日本特許：昭56—49195
「ティグとレーザの併用溶接」（工業技術院）

この中で、TIGのトーチとレーザを一体に組合せるとともにTIGトーチノズルの上部に穴を開けこの開口よりレーザをTIG電極先端に近接するように照射して、深溶込み溶接することが出願された

海外では

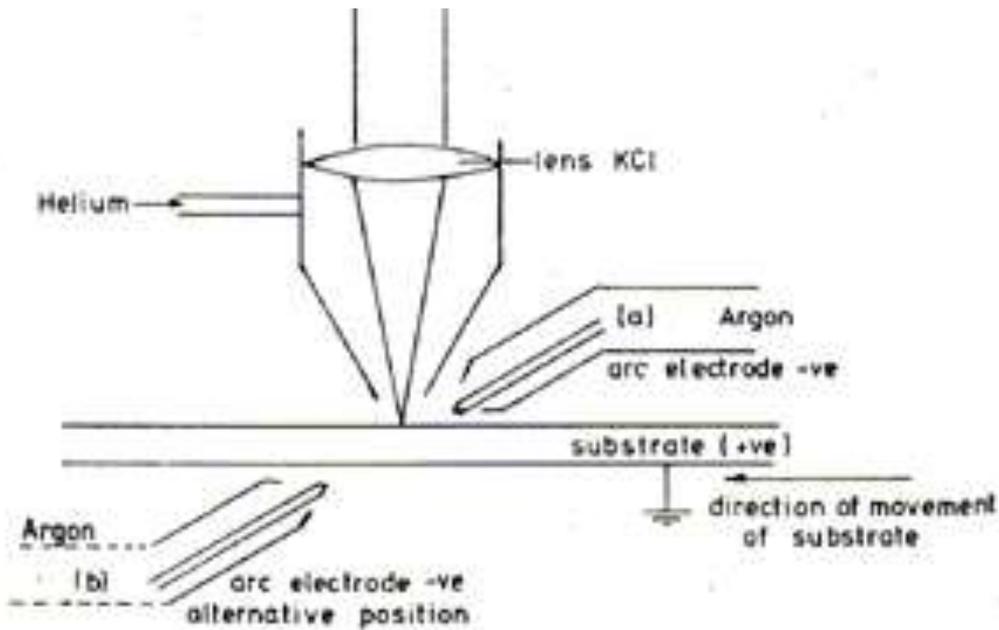
1978年の国際会議で、

ロンドンのインペリアル大学のW.M.Steel教授がUK patent 12681(1975)を参考に“Arc Augmented Laser Welding”として、Fig.1に示すように鋼板の上面また裏面からTIGアークで加熱しレーザ溶接を行ない、アーク電流の効果として溶接速度および溶込み深さが増加することを報告した。

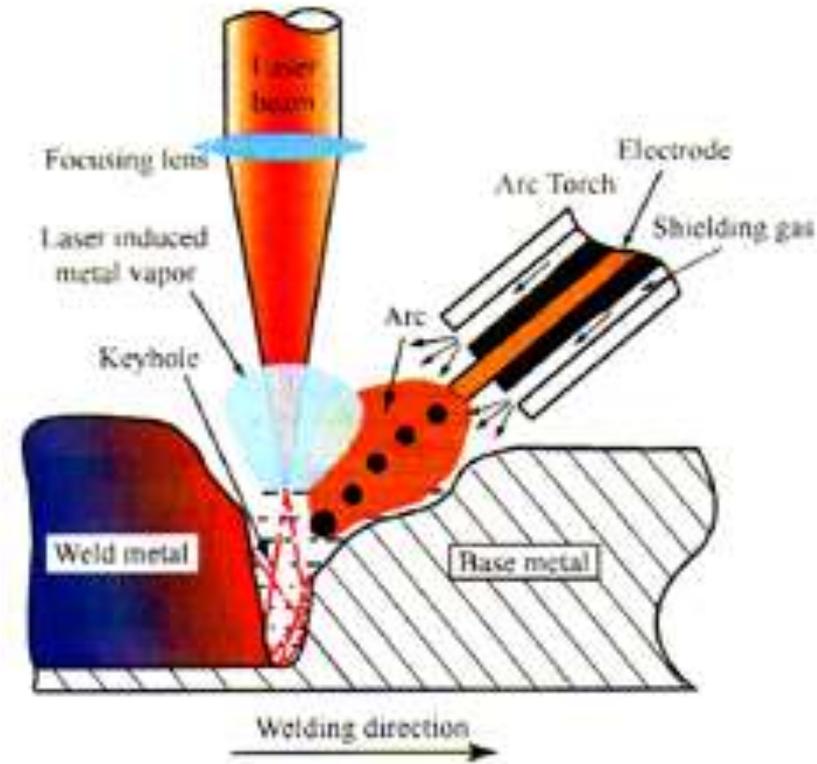
1999年のIIW（リスボン大会）で

ドイツのアーヘン工科大学のDilthey教授がレーザ・アーク(GMA)ハイブリッド法をアルミ合金製自動車部品の溶接に実用化したことを報告し、急に注目されるようになった。

1. 1 ハイブリッド溶接とコンバインド（併用）溶接



**Arc Augmented Laser Welding
after prof. Steen**



**Laser Arc Hybrid Welding
after prof. Dilthey**

ハイブリッド溶接とコンバインド（併用）溶接

- **Laser – Arc Combined Welding :**

レーザ溶接とアーク溶接が同一溶融池ではないときはコンバインド（併用）溶接である。すなわち、溶融プールが同一でなく、別々である場合は併用溶接である。

- **Laser Arc Hybrid Welding:**

一般にハイブリッド（雑種または複合）溶接の定義は、時間的にも空間的にも、異なる溶接法それぞれの溶融池が同一である場合を言う。

- **ハイブリッドの語意 :**

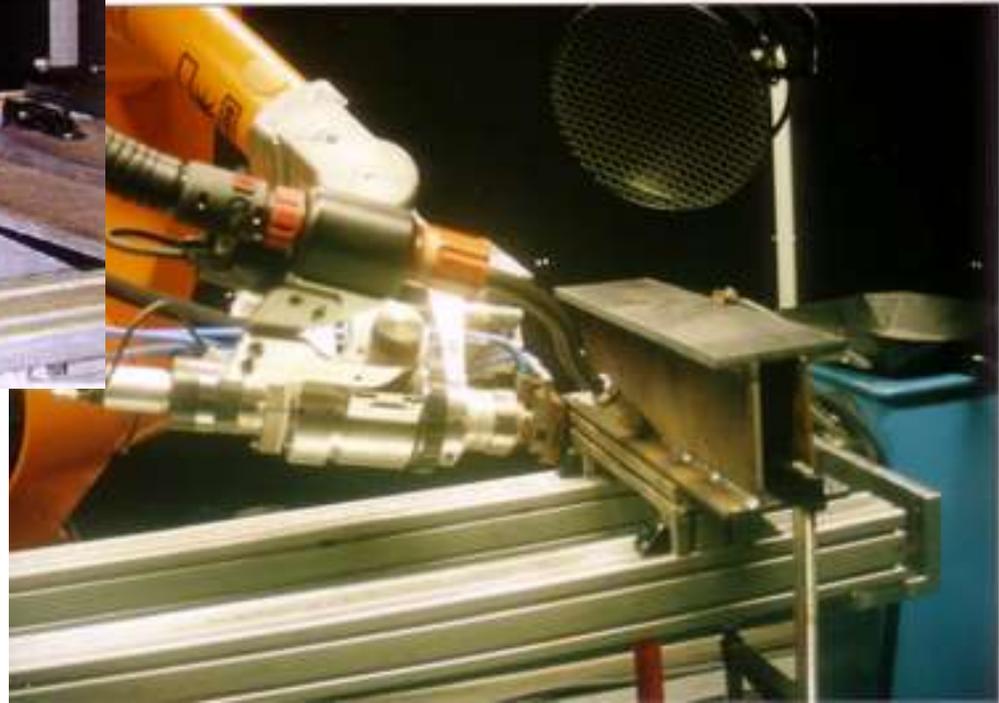
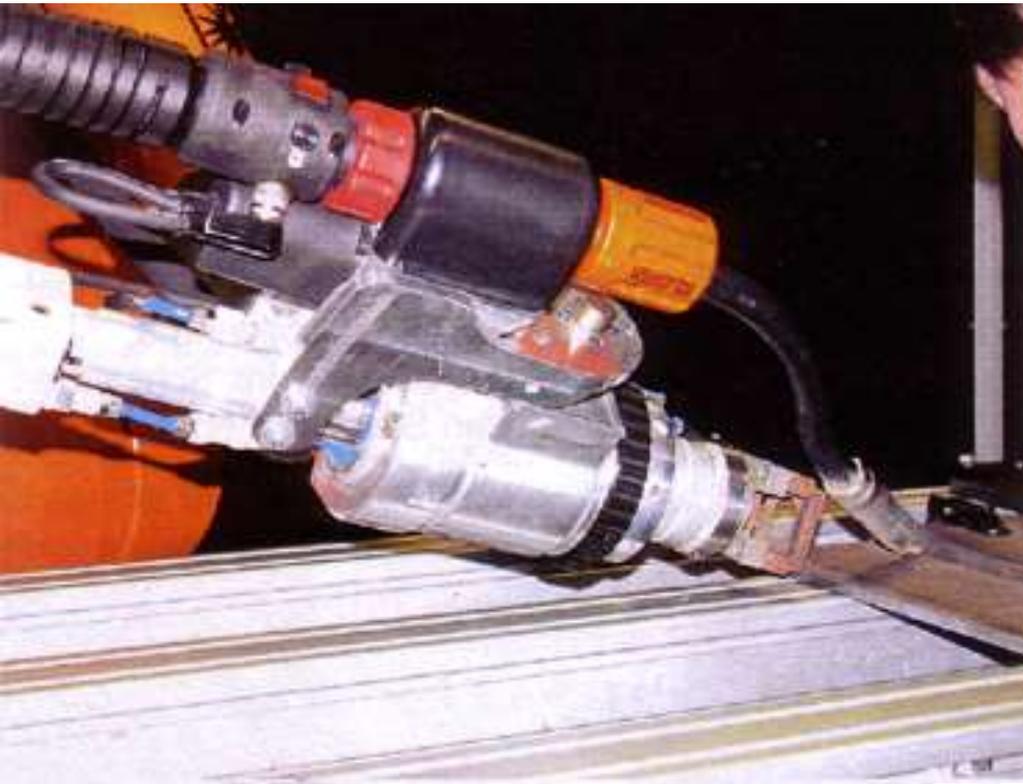
動植物などで、「雑種」を意味する言葉で、例えば、ロバと馬をハイブリッドしてできた雑種の動物は騾馬である。

1. 2 ハイブリッド溶接の種類

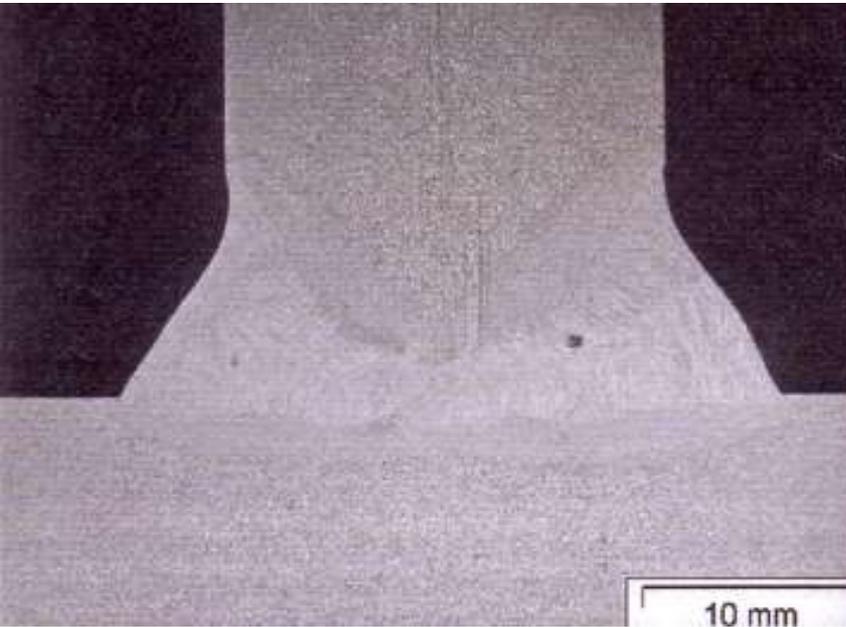
Table 1 ハイブリッド溶接におけるレーザとアークの組合せ

レーザの種類 (最大出力)	X	アーク溶接
• YAG レーザ (6 kW)	X	TIG、GMA、プラズマアーク
• CO ₂ レーザ (4.5 kW)	X	TIG、GMA、プラズマアーク
• 半導体レーザ (6 kW)	X	TIG、GMA、プラズマアーク
• ファイバーレーザ (3.6 kW)	X	TIG、GMA、SAW

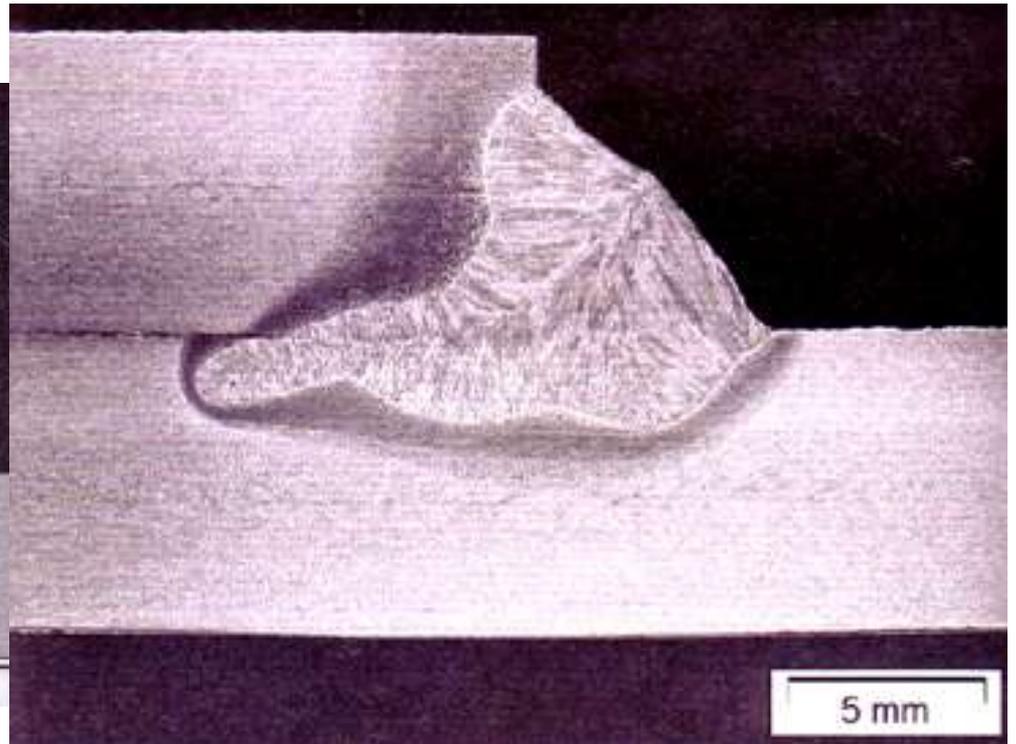
4kWファイバーレーザーとMAG溶接の ハイブリッド溶接 (LSV Halle)



造船用鋼板のハイブリッド溶接

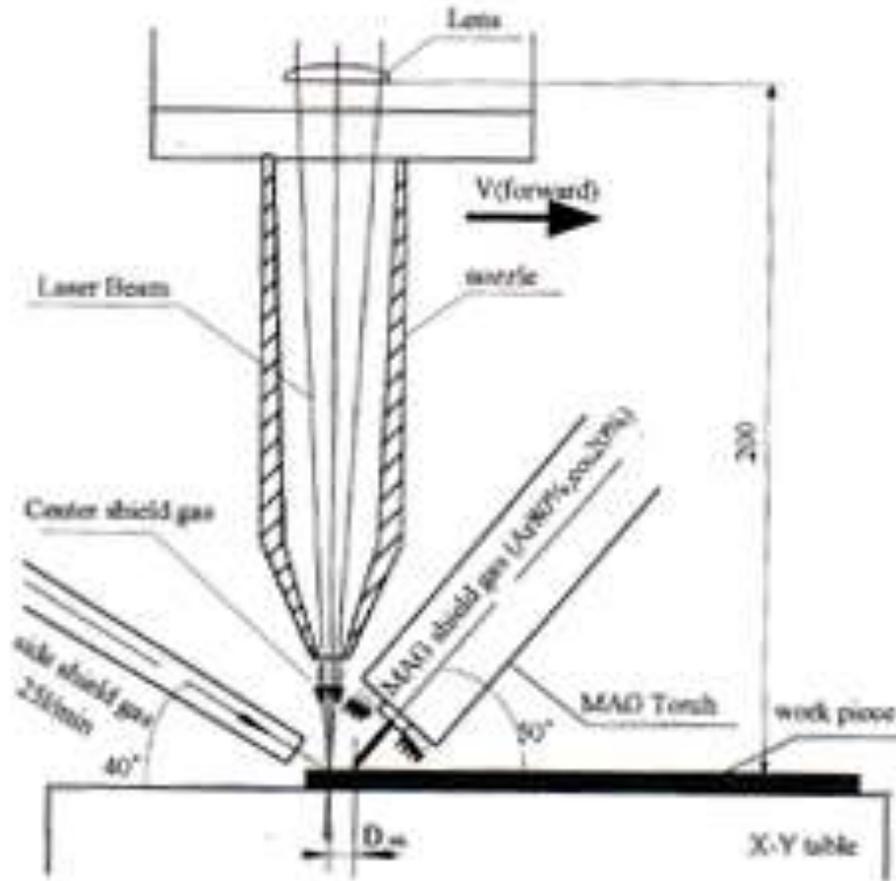


T継手のすみ肉溶接

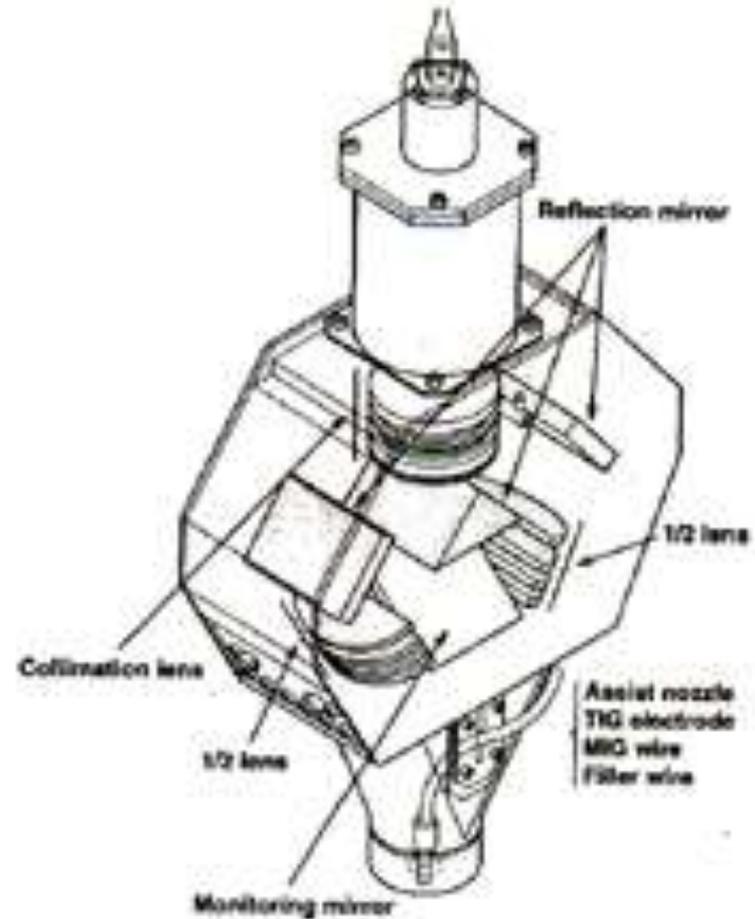


重ねすみ肉溶接

もう1つの分類



(1) 非同軸形トーチ



(2) 同軸形トーチ

2. ハイブリッド溶接の特性

2. 1 アーク溶接、レーザ溶接および ハイブリッド溶接の一般比較

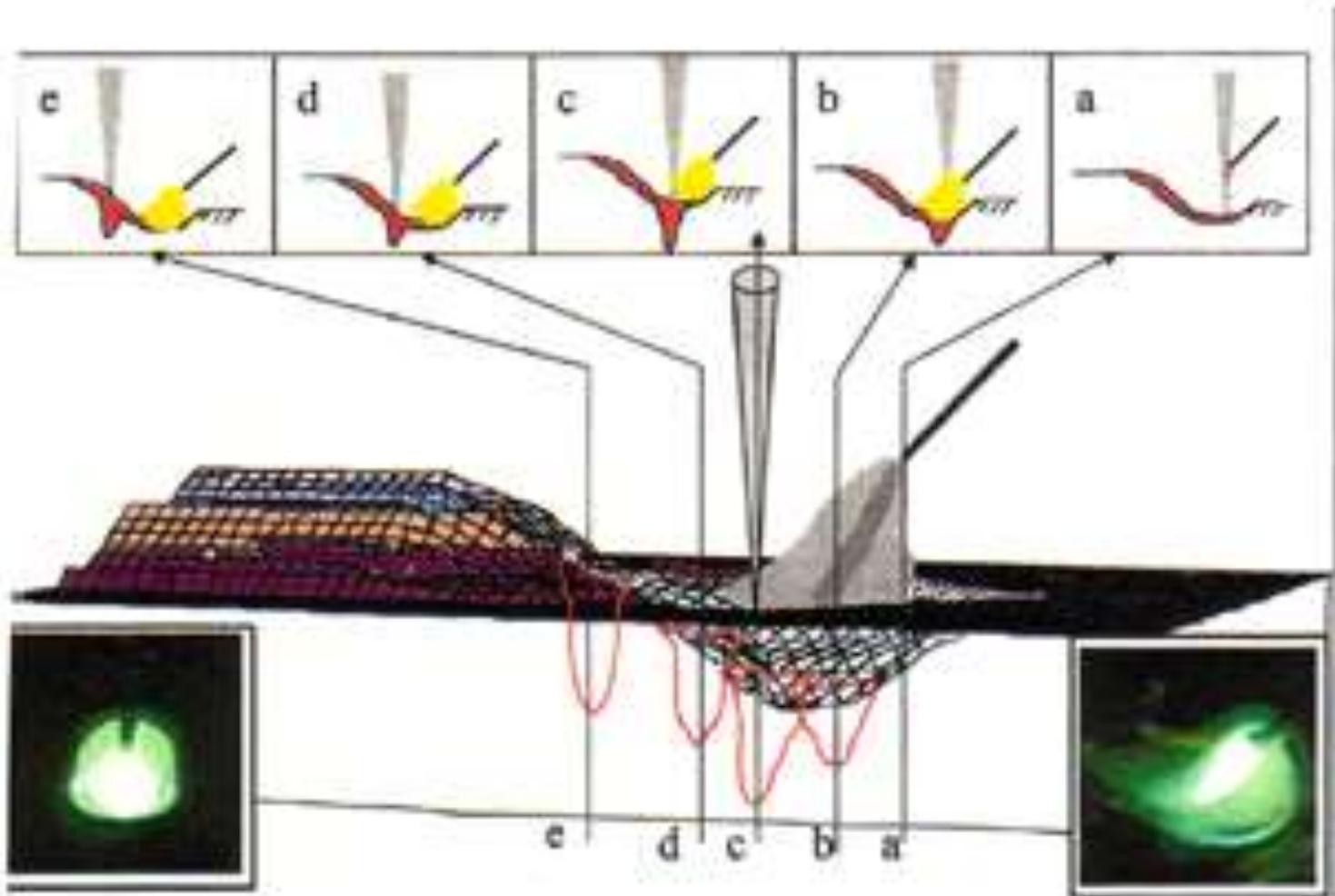
Table 2 レーザ溶接、アーク溶接及びハイブリッド溶接の比較（その1）

比較項目	溶 接 方 法		
	レーザ溶接	アーク溶接	ハイブリッド溶接
1) エネルギー密度	高い	低い	高い/低いもの複数使用
2) 熱効率	やや低い	高い	高い（吸収率の向上あり）
3) アークとの相互作用	(なし)	(なし)	アークの安定化作用がある。 アークの磁気吹き消滅
4) 溶接速度	速い	やや遅い	速い
5) 溶融特性	溶込みが深い	溶込みが浅い	溶込みがより深い
ビード幅	狭い	広い	やや広い
6) 許容継手ギャップ	狭い	かなり広い	十分広い

Table 2 レーザ溶接、アーク溶接及びハイブリッド溶接の比較（その2）
 比較項目 レーザ溶接 MAG溶接 ハイブリッド溶接

7) 溶接金属への合金添加	フィラー添加で可能	溶接ワイヤで容易	ワイヤから添加可能
8) HAZ幅	HAZ幅が狭い	HAZ幅が少し大きい	HAZ幅がやや大きい
9) 溶接継手性能 低炭素鋼	高速溶接で硬化	ワイヤの選択で改良	ワイヤの選択でじん性改良
メッキ鋼板	ポロシティ発生	ポロシティ発生	ポロシティの抑制
ステンレス	高速溶接が可能	粒界腐食の問題	粒界腐食問題が少ない
アルミ合金	高速溶接が可能	溶接欠陥の防止必要	ポロシティや割れが少ない。 ワイヤの選択で割れ防止
10) 溶接変形	溶接変形少ない	溶接変形が大きい	溶接変形少ない
11) 導入コスト	高い	安い	レーザより安価

2. ハイブリッド溶接の主な長所 (1) レーザ吸収率の向上



2. アークによる凹状の溶融池の効果

「溶込みが深くなる原因」

3. レーザプラズマのアーク側への偏向

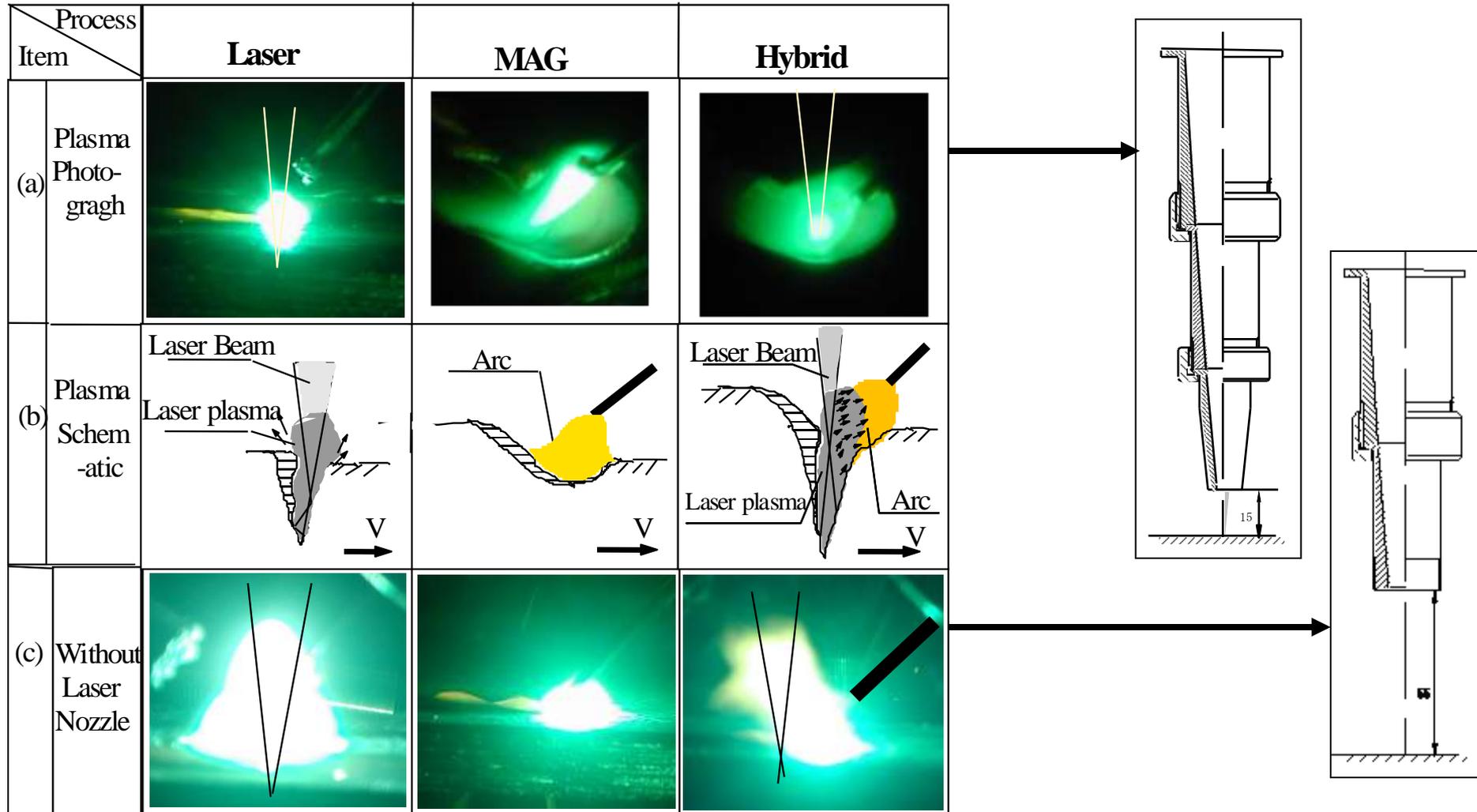
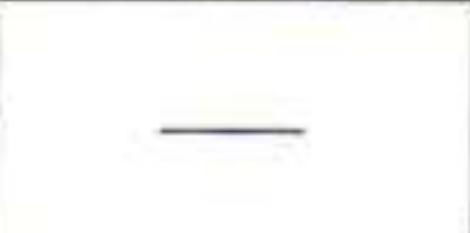
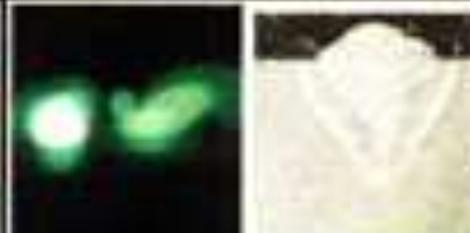
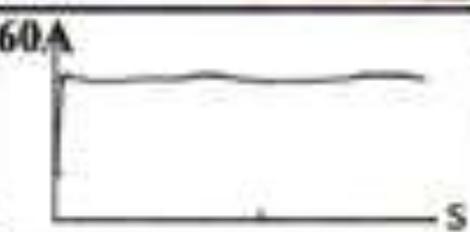
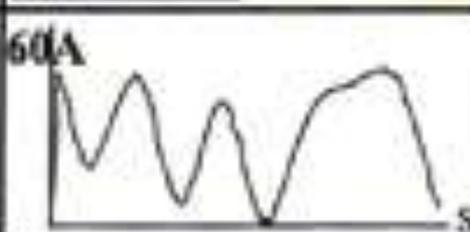
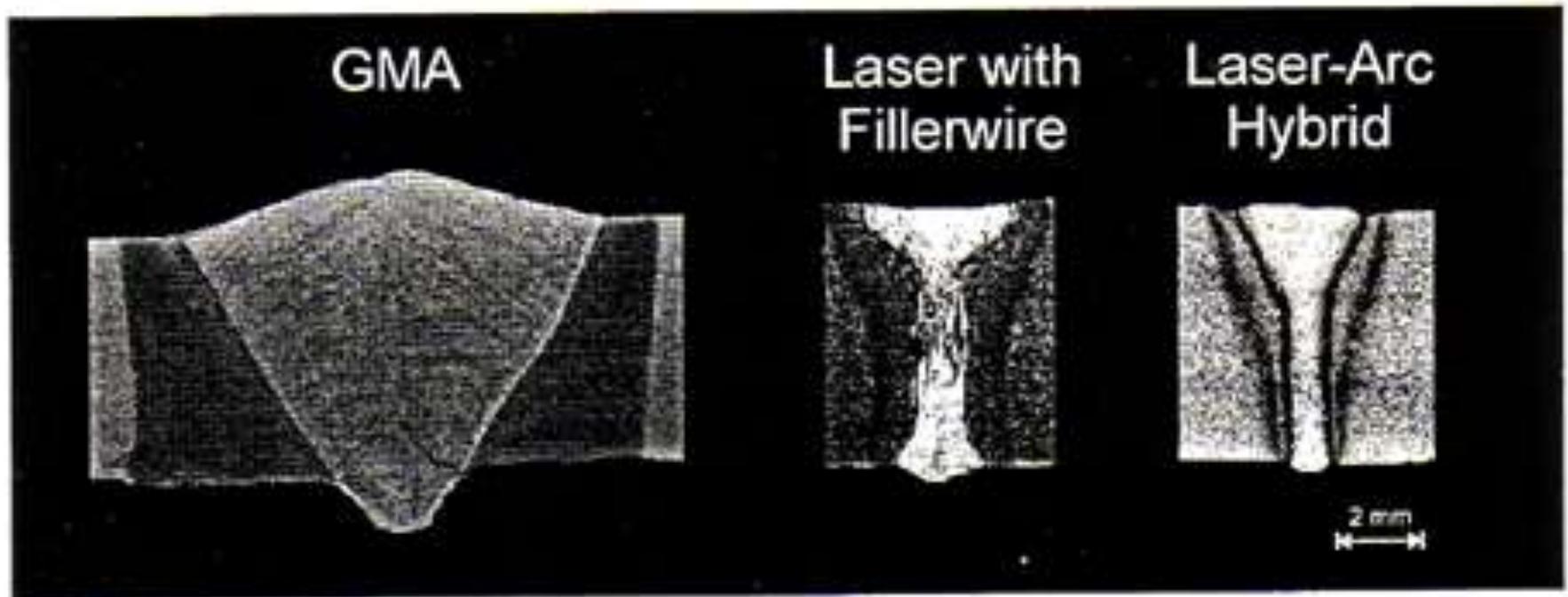


Fig. Characteristics of plasma produced by laser, MAG and hybrid

(2) レーザによるアークの安定化 (沓名、陳)

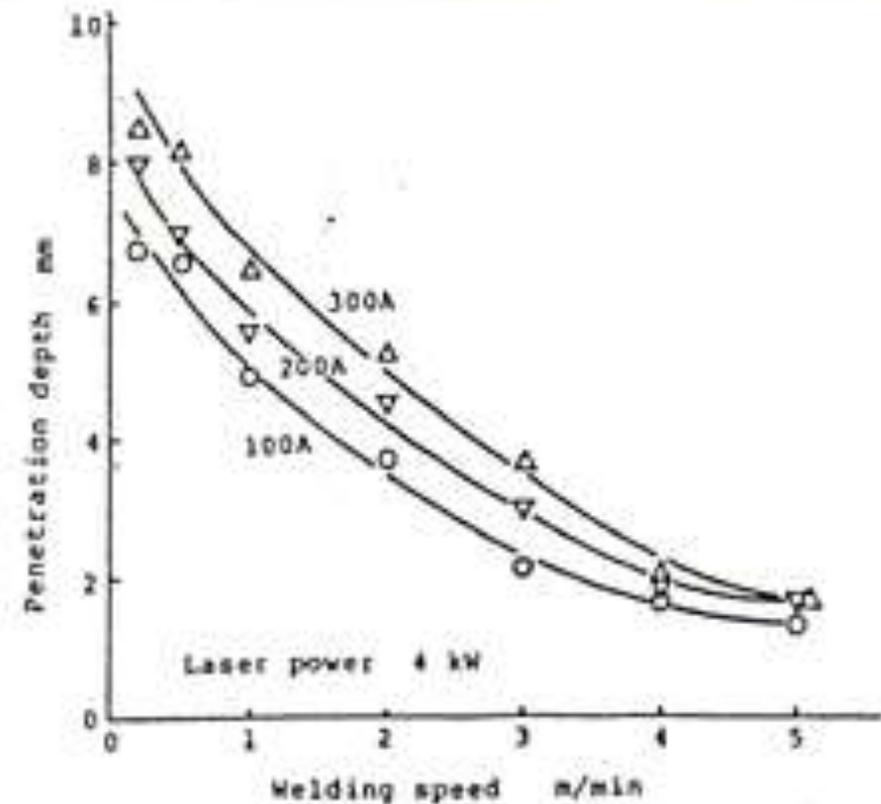
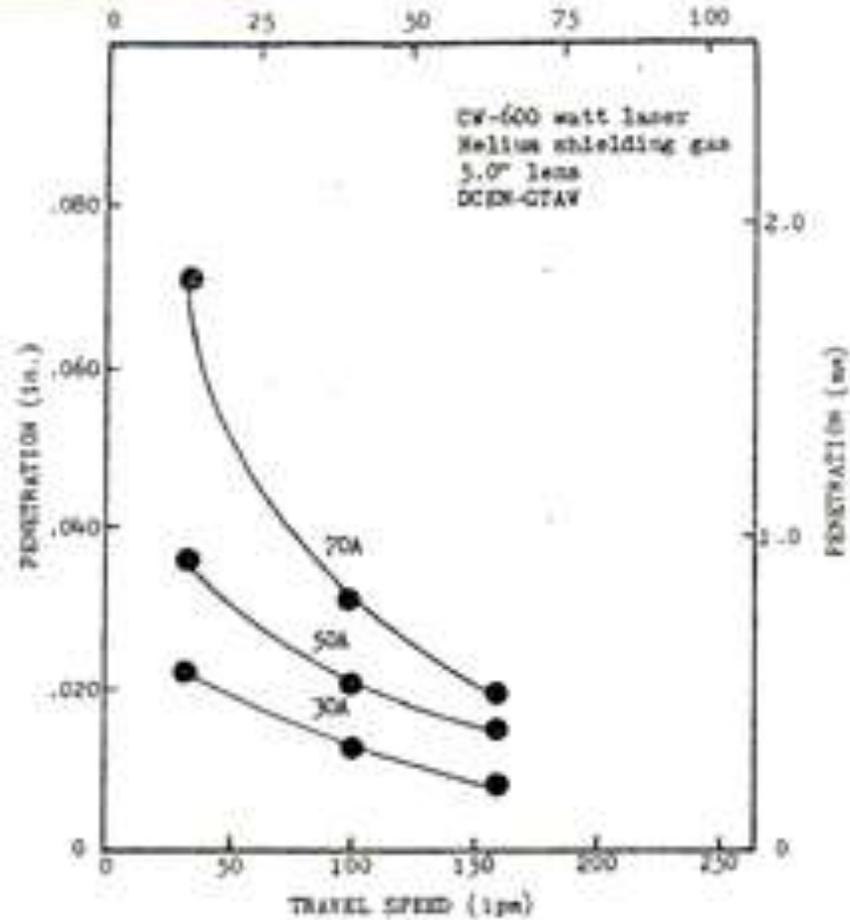
Item \ Process		MAG only	Hybrid $D_{LA}=0$	Hybrid $D_{LA}=2$
60A 12V 0.5m/min	Appearance			
	Cross Section			
	Current			

(3) .溶込み深さの改善 (高速化)

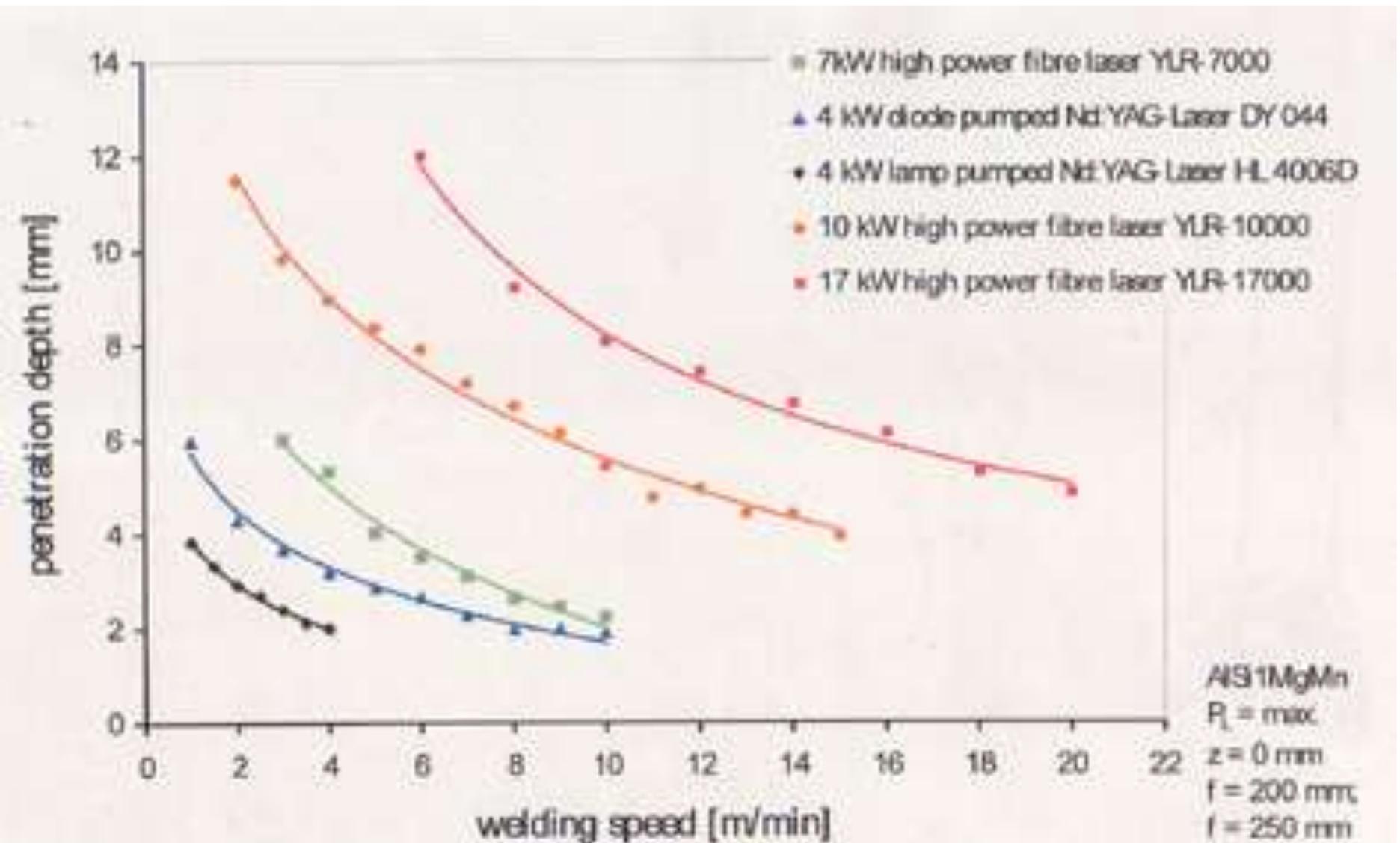


Power	20 kW	5,4 kW	11,7 kW
Welding Speed	1 m/min	1 m/min	4 m/min
Energy per Unit Length	1170 kJ/m	324 kJ/m	175 kJ/m
Cross section	124 mm ²	13,5 mm ²	10,4 mm ²
Efficiency	103 mm ³ /kJ	41,6 mm ³ /kJ	59 mm ³ /kJ

①アーク電流及び溶接速度の影響： アーク出力の影響：

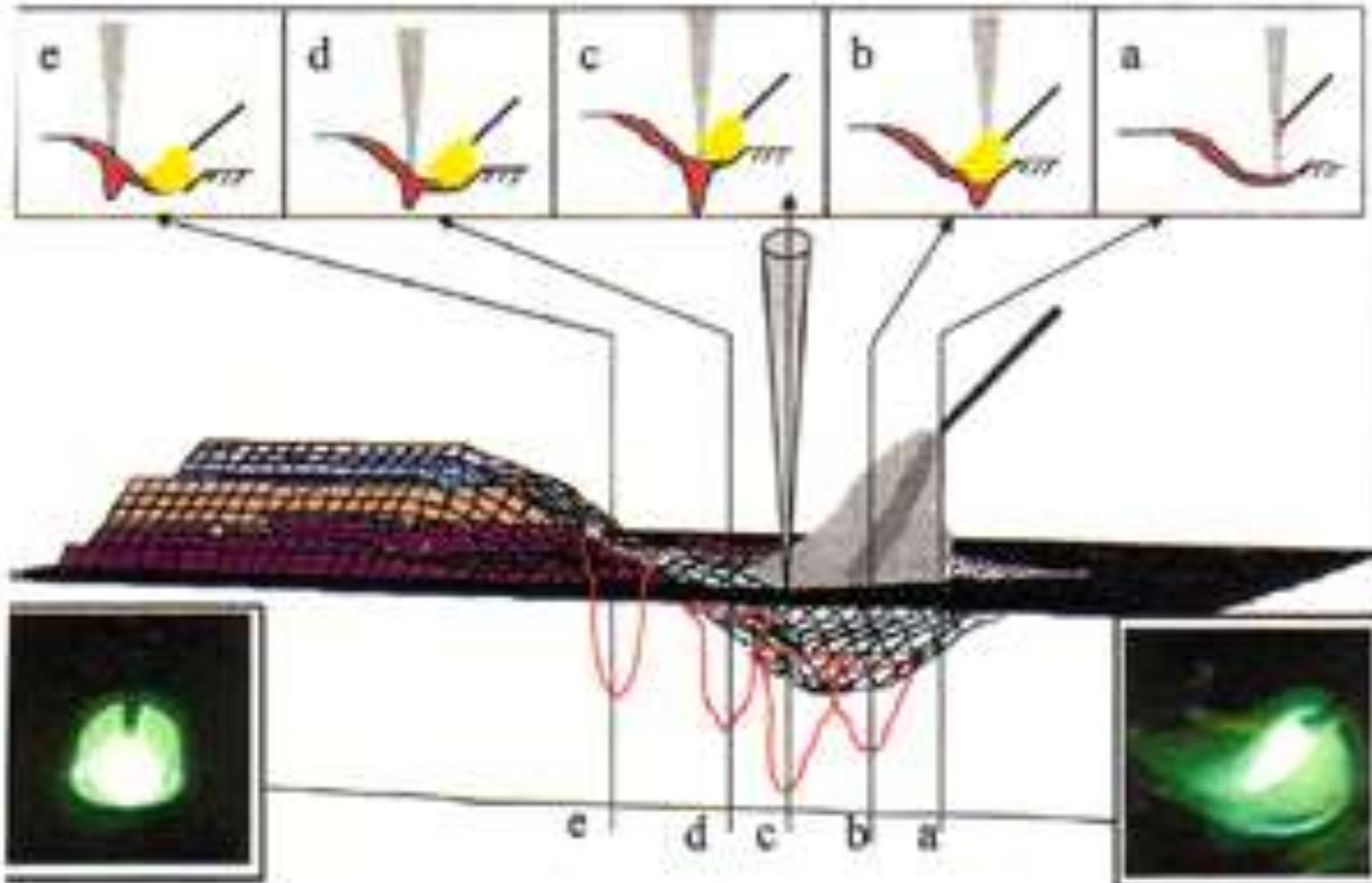


② レーザ出力の影響：



溶込み深さの比較

③ レーザ入射位置の影響：



(4) 溶接欠陥の防止

- 片山らはCO₂レーザ・MIGハイブリッドでSM490鋼（22mm厚さ）を溶接する際のポロシティの発生現象をX線を用いて高速度カメラで撮影し、その発生についてより高速溶接で、かつ、継手ギャップが狭いを発生しやすいことを示した。

レーザ単独溶接では著しくポロシティが発生したが、ハイブリッド溶接ではJIS放射線透過試験のフィルム等級は1級であった

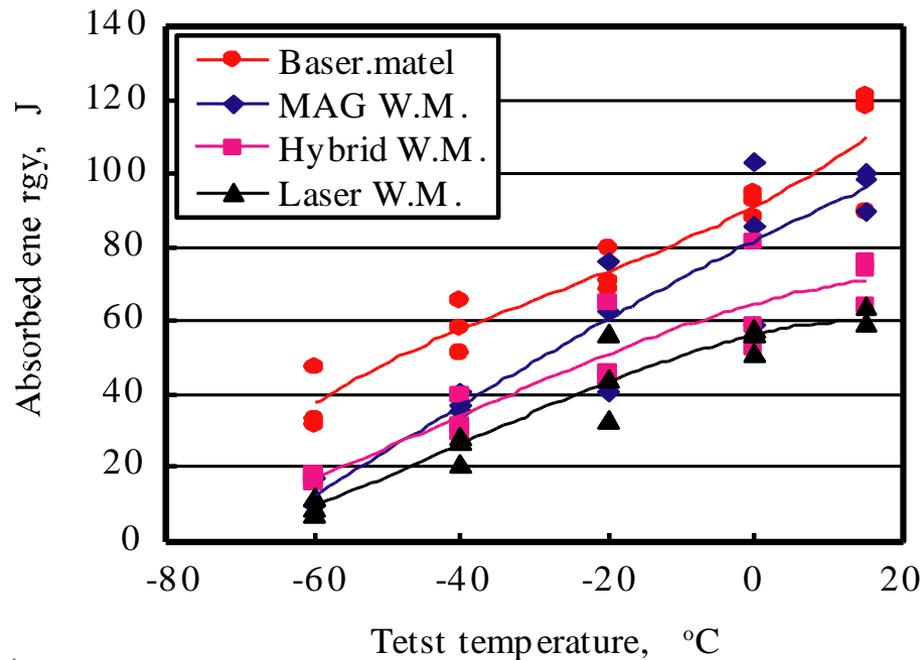
凝固割れの防止

- アルミニウム合金は溶接時凝固割れが発生する場合がある。このとき、Al-12%Si系のフィラーワイヤを用いて溶接することにより凝固割れが防止できる。
- エアバスは旅客機のスキンパネルとスチフナーのすみ肉溶接はこのようにして、凝固割れを防止している。

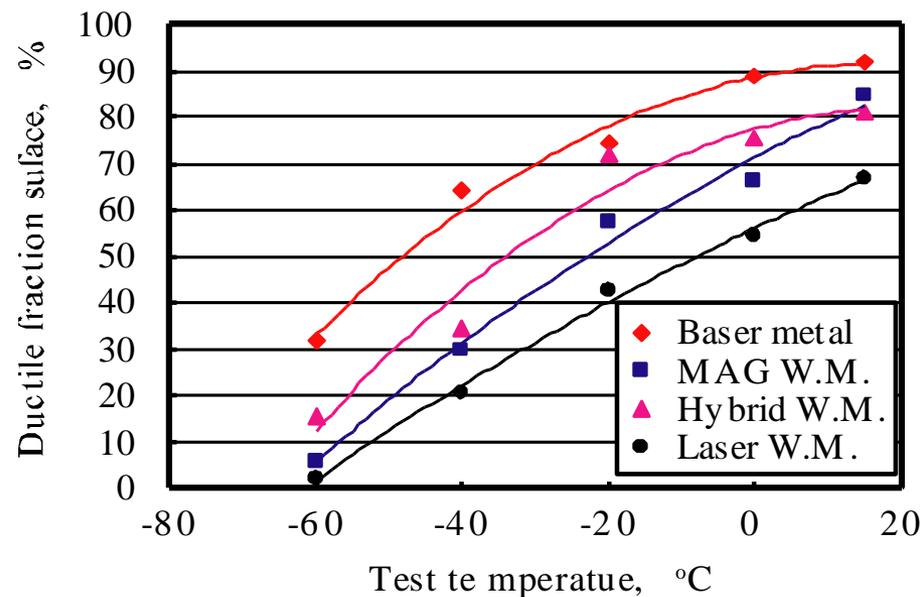
(5) 溶接継手性能の改善

590MPa級高張力鋼の
ハイブリッド溶接部の
切欠けじん性

(a)



(b)

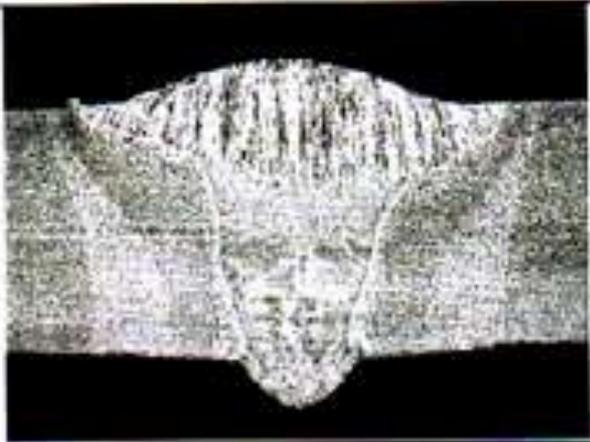
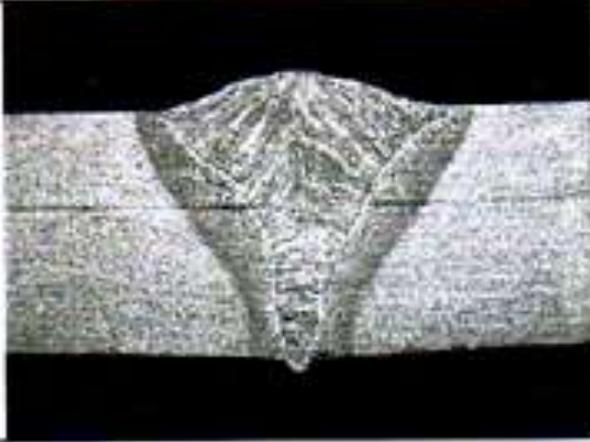


3. 各種材料のハイブリッド溶接

- (1) 低炭素鋼・高張力鋼
- (2) メッキ鋼板
- (3) ステンレス鋼
- (4) アルミニウム合金
- (5) その他

今後はチタン合金、ニッケル合金、銅合金のハイブリッド溶接などの報告も増加してくると思われる。

アルミニウム合金のハイブリッド溶接

	
<p>1) 135 A/18,0 V/19,5 cm/min 2) 270 A/27,5 V/66,0 cm/min 3) 270 A/27,5 V/59,0 cm/min Zusatzdraht: G4Si1; 1,2 mm</p>	<p>$P_L = 2,6 \text{ kW}$ $I_S = 280 \text{ A}$ $U_S = 25,8 \text{ V}$ $v_S = 80 \text{ cm/min}$ Zusatzdraht: G4Si1; 1,6 mm</p>

4. ハイブリッド溶接の実用化例

4. 1 ハイブリッド溶接の適用例 (その1: 造船) 護衛艦、駆逐艦、豪華客船、高級ヨットなどの建造に

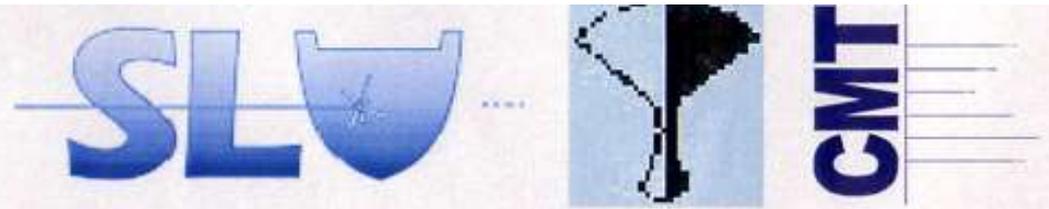
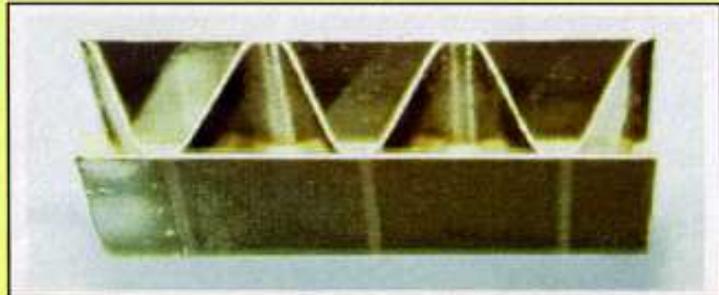
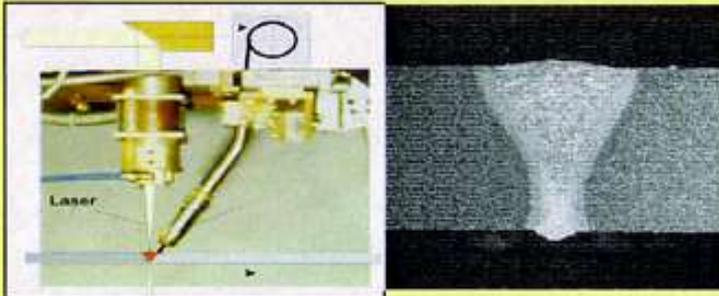
TRUMPF

High-Powered Laser Applications in Shipyard Industry



- Frigates
- Corvettes
- Large Yachts
- Cruis Liners
 - High Degree of Payload
 - High Service Speeds
 - Lightweight Construction of the the Decks





3. 3 造船への応用

A Strategic View of Implementing Laser Beam Welding for European Shipbuilding

Dr.-Ing. Frank Roland

Forschungszentrum des Deutschen Schiffbaus
Hamburg, Germany

Ⓞ **Prof. Dr. sc. Peter Seyffarth**

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
Rostock, Germany

SAIL Shipyard Applications for Industrial Lasers

Williamsburg, VA, USA June 2-4, 2003

高精度を要求される 高速船の建造

TRUMPF



The idea of High-Powered CO₂ Laser Application:
Precision Manufacture

- Lightweight construction
- Increase of productivity
- Faultless preparation of weld seams
- Manufacturing sections to tight tolerance ranges
- Reducing assembly / alignment work by accuracy in the mm range
- Use of modular, prefabricated units: walls, decks, bulkheads (parts families)
- Increased degree of automatization



突合せ継手とすみ肉継手への ハイブリッド溶接の適用

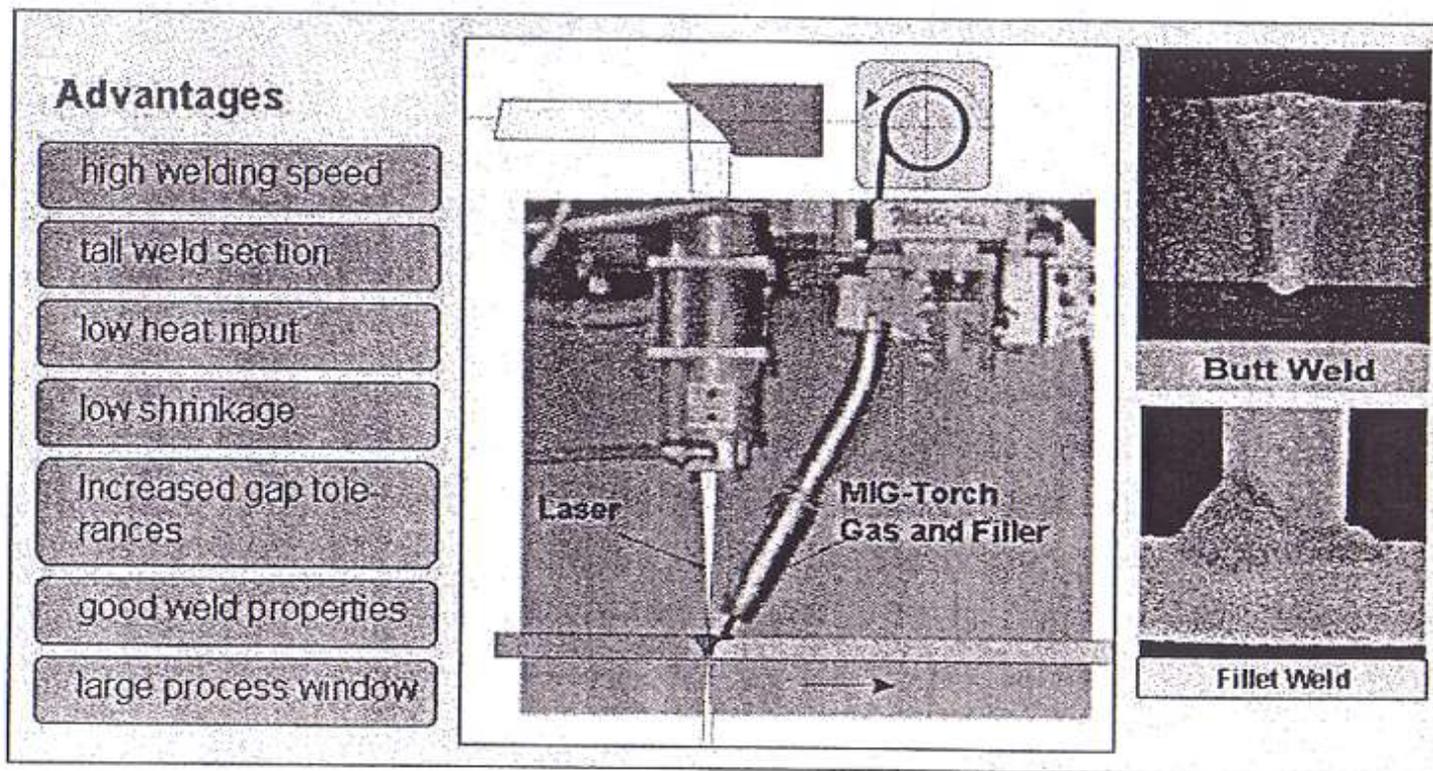
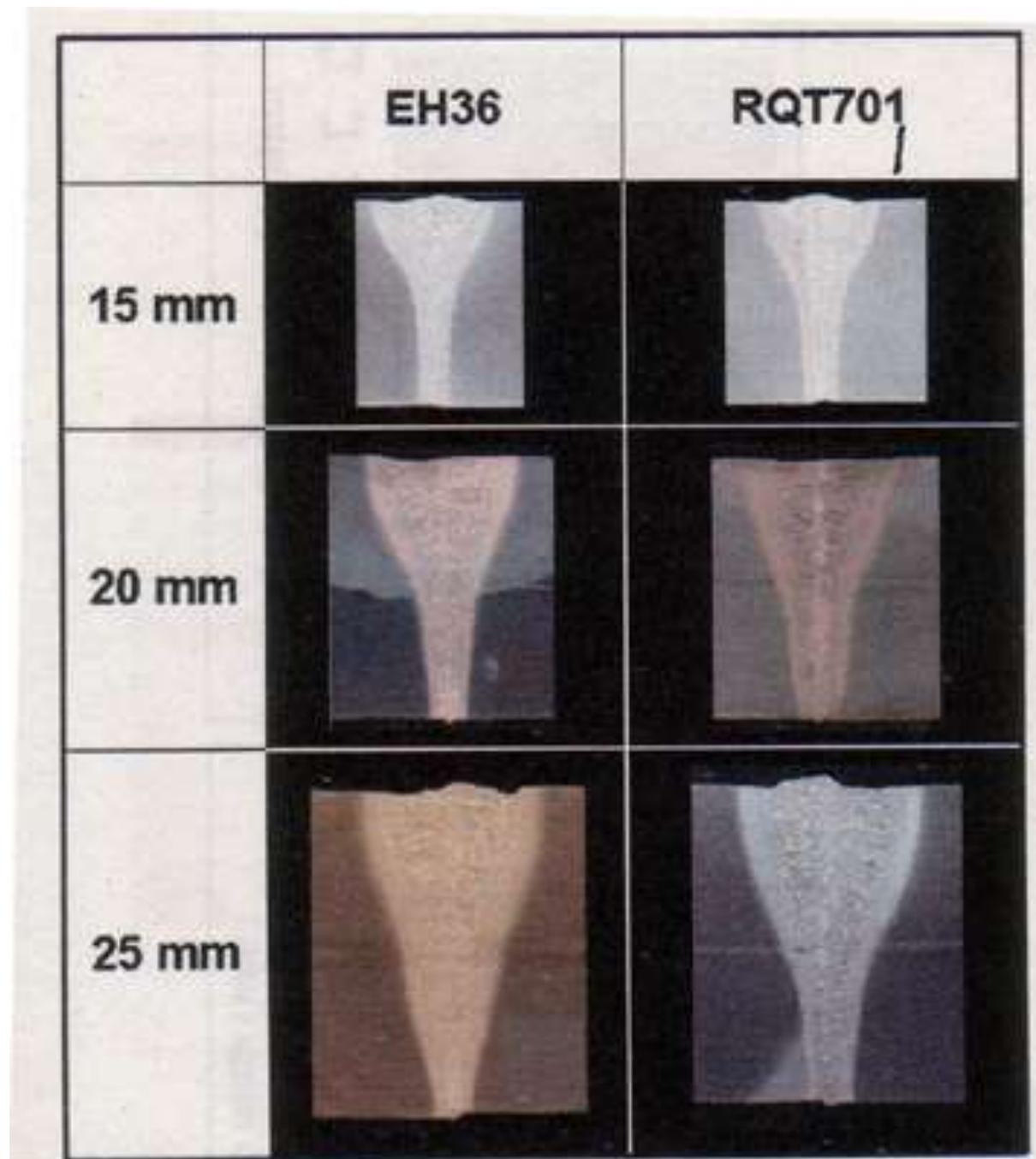


Figure 8:
Principle and benefits of laser hybrid welding as used by Meyer Werft

20kWCO2+
MAG
ハイブリッド溶接

Fraunhofer LIT



パネルの(突合せ溶接)組立て工場への導入

TRUMPF

Butt-Joint Welding System (20m x 20m):
2 x TLF 12000 + Filler Wire (MIG) + Seam Tracking



船殻パネルの組み立てに適用

TRUMPF

System layout of a widely automated Panel Fabrication Facility



- Transport and movement of panels by shuttles (2 x welding, 1 x cutting) with 16 tons weight
- Weight of fabricated structures: up to 10 tons
- Maximum size: 12 x 4 m
- Automatic alignment / clamping system for stiffener bars
- Fillet joints:
 - Reduced seam size / heat input / distortion
 - Ultra sonic testing due to full penetration joint is possible

Laser:

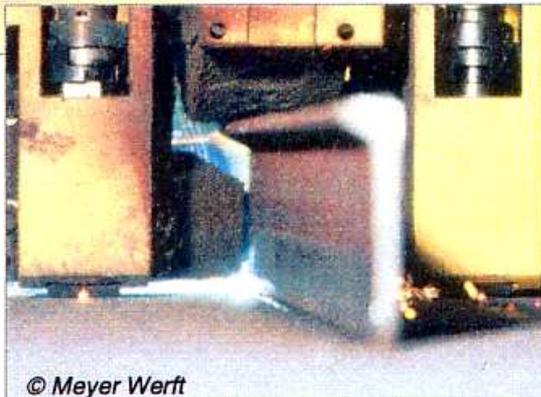
conventional:



スティフナー材のすみ肉溶接

TRUMPF

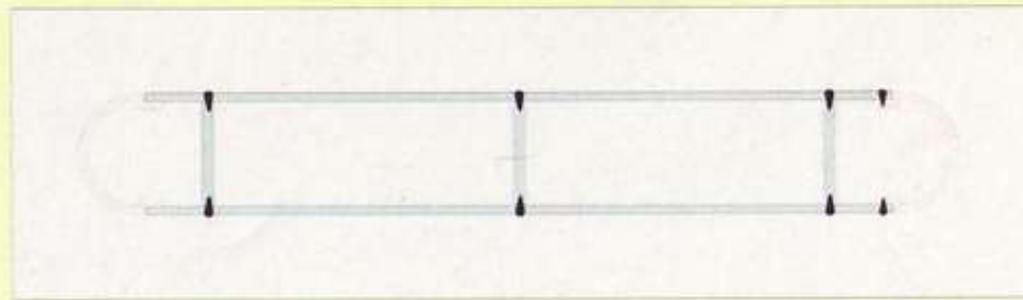
Fillet Joint Welding System: welding stiffening bars onto panels and walls: 1 x TLF 12000 + MIG + Tracking



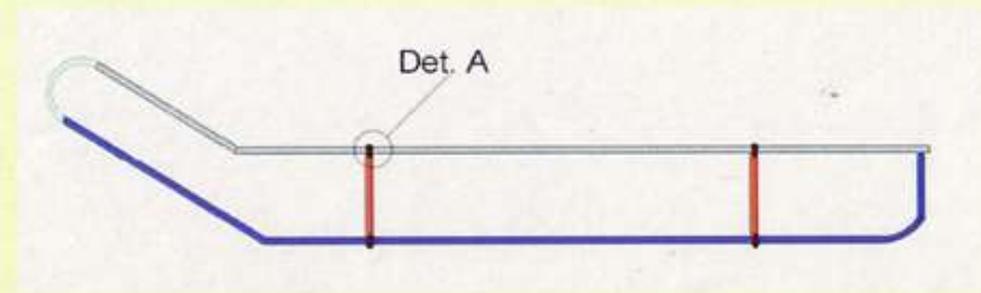
© Meyer Werft



階段もサンドウイッチパネル



Stairs from Sandwich Panels



レーザー切断された造船用軟鋼のハイブリッド溶接継手の引張特性 IHI



図3 レーザ切断面に対するレーザー・アークハイブリッド突合せ溶接適用例

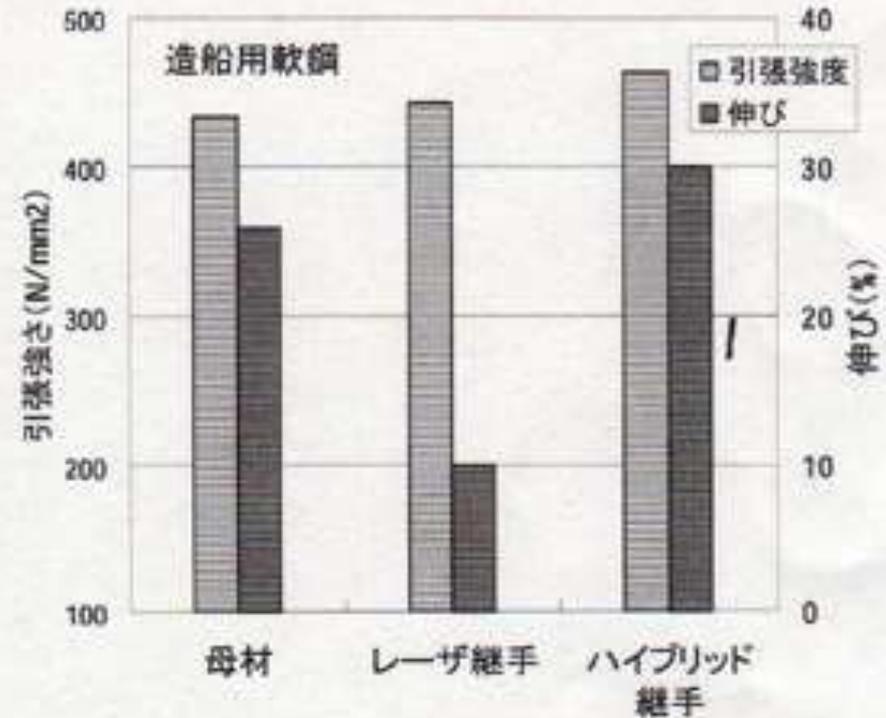


図4 軟鋼突合せ継手の引張強度比較

Odense造船所の重要な技術革新

Mr. Stefan Lambaek

- 欧州の造船所は
1996年の380万トン建造から 2006年の520万トン建造
へと発展している。
- 日本の造船所は1996年は620万トンから
2006年は580万トンと減少している。
- オデンセ造船所の建造船種としては
コンテナ船、パトロール船、ロールオン・ロールオフ船、貨物船が多い。
- アーク溶接のロボット化、自動化を進めている。
- 今 レーザ+3電極SAWのコンバイン溶接で
T=10~25mmの鋼板の突き合わせ溶接をトライしている。

Odense Steel Shipyard



世界最大のコンテナ船の建造 Odense Steel Shipyard (11,000個)



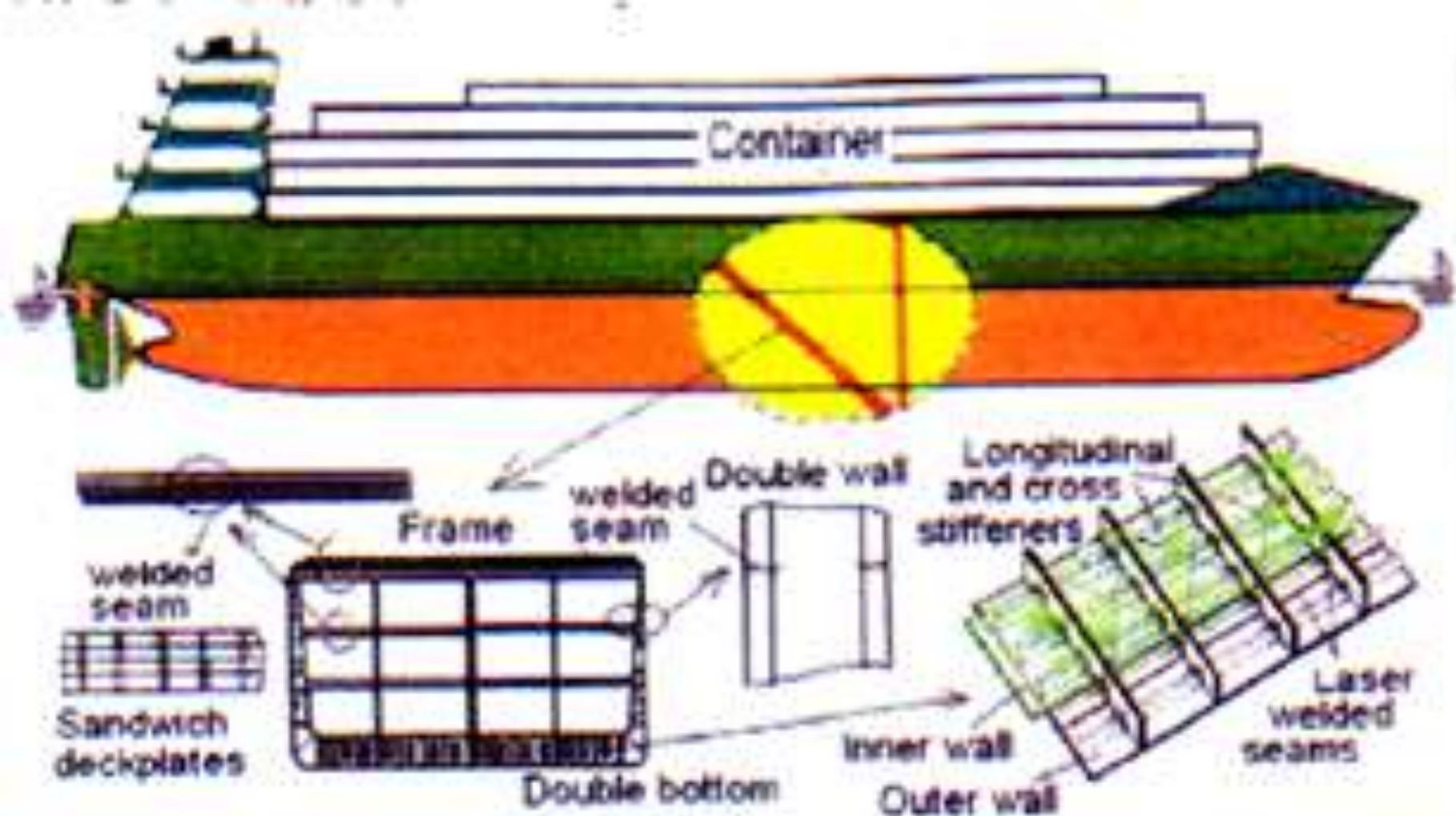


Fig.3 コンテナ船の船体パネルへのレーザー溶接の適用案[3]

低歪化

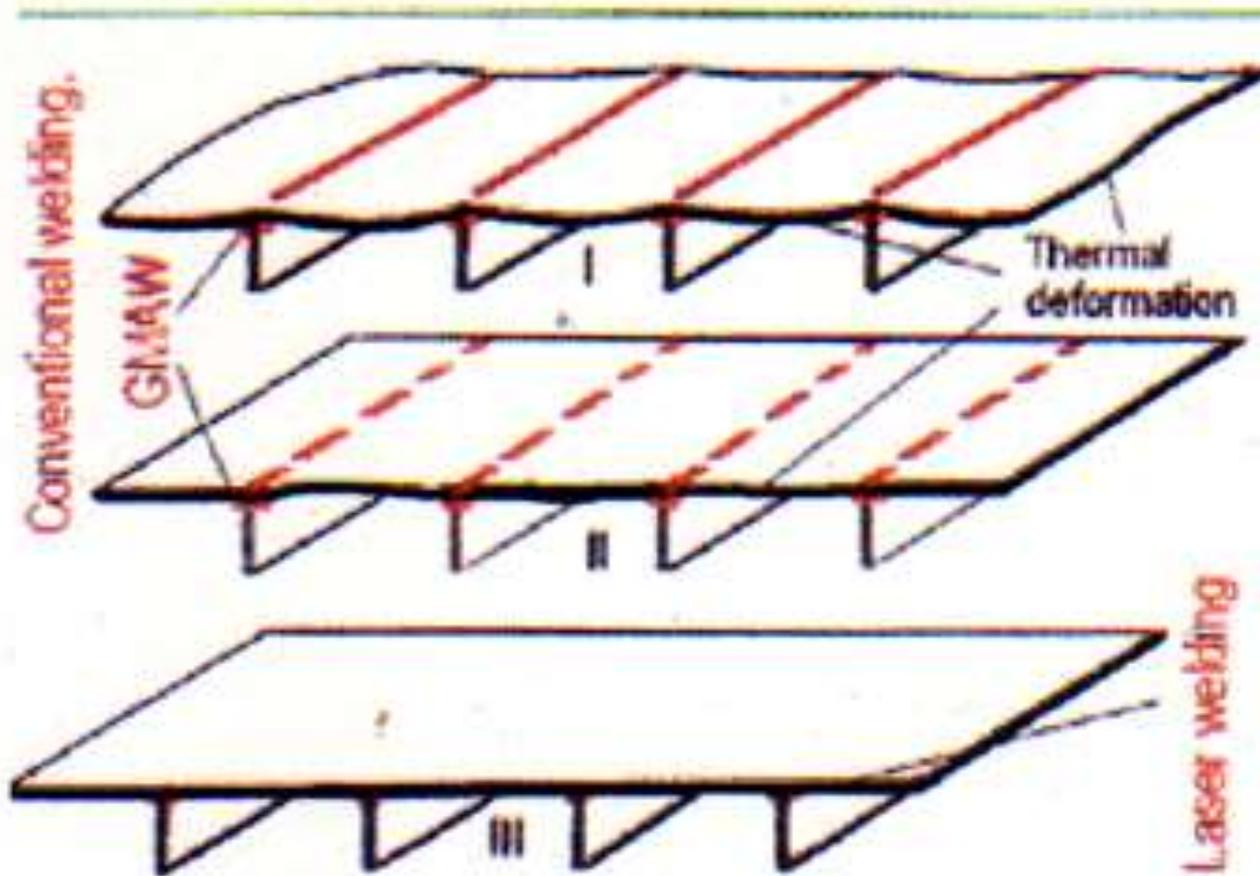


Fig.4 船体ブロックに発生する「やせ馬」
(最上部の図)を防止したレーザー溶接され
たパネル (最下部の図) [3]

BLohm+Voss 造船所の計画

Future Laser Applications

Section-assembly



3D - mobil

ThyssenKrupp Marine Systems
Surface Vessel Division

A 100%
of ThyssenKrupp
Technology



Future Laser Applications

Section-
building



Source: IFC



3 D

A COMPANY
OF THYSSENKRUPP
CORPORATION

ThyssenKrupp Marine Systems
Surface Vessel Division

レーザー溶接＋3電極の片面自動溶接

- 下面からYAGレーザーでルート部を先行して溶接し、後行くとして、上面から3電極SAWで大電流溶接し、厚板の突合せ溶接を行う。
バックング材(裏て材)なし
フラックスも少ない
変形が減少(入熱が減少)

板厚 : 10mm から 25mmまでを溶接
溶接速度 : 500mm/min

ヨーロッパの造船業

By Mr.Jochen Thden(Univ. of Bleman)

- 今 造船所は大変 人で不足であり、自動化、高能率化に非常に力をいれている。
- 欧州では労働者の賃金が国により大きく違う。
- 例えば、クロアチアでは6つの造船所で
10, 000人が働いている。
170, 000トンの船まで造っている。

英国周辺フェリー航路



将来の造船におけるレーザ溶接 by Mr. Jens Keil (Blohm+Voss)

- 高速船の建造にレーザ溶接が使われる。

駆逐艦 T= 3mm-5mm

U-ボート

メガ・ヨット T=4mm-11mm

特殊船 T=9mm- 15mm

部材としては Deck, Frames, Stiffened plates,
wallsなどに適用される。

継手としては T継手や 突合せ継手に

また、異材継手(炭素鋼とステンレス鋼)に

レーザ溶接以外では レーザ切断、ペイントストリッピング、
マーキングなども適用される。

将来の造船におけるレーザー溶接 by Mr. Jens Keil (Blohm + Voss)

- レーザ溶接ロボットを数台のグループで2Dの組み立てに適用するようになるだろう。
- IPGのファイバーレーザーロボットは3Dの組み立てに適用できる。
- ただ、In-Processおよび Post-ProcessのQCが重要になると思う。

造船における革命的イノベーション

A revolutionary innovation
in the history of shipbuilding, order 6 Feb 2006



The world's largest cruise vessel - taking a giant step into the future
with bold design, daring innovation and technological advancements

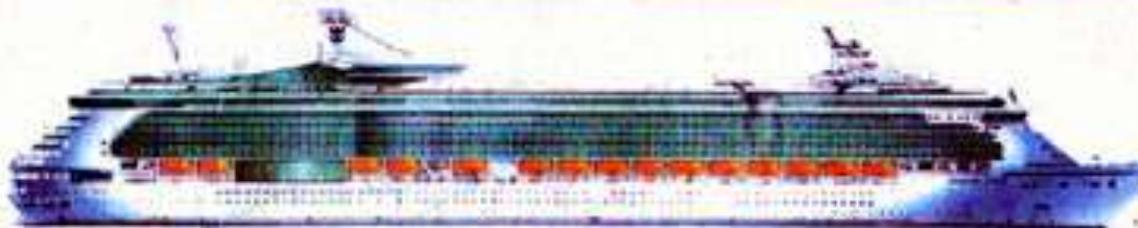
- The new generation flag ship developed by Aker Yards in cooperation with RCCL
- Worth approx. EUR 900 million = the most valuable commercial ship ever ordered
- Contract for one vessel + option for a similar vessel
- NB 1363 delivery in autumn 2009 + option 2010

Since the 70's
the size of cruise
vessels
(measured in GT)
has doubled
in every decade.

Genesis



Freedom



5th generation

Voyager



2000 4th generation

Panamax



1990 3rd generation



1980 2nd generation



1970 1st generation

Preferred for Innovation



part of the Aker group

13 Jun 06

© 2006 Aker Yards

An aerial photograph of a large cruise ship under construction at a shipyard. The ship is white with a dark hull and is positioned in a dry dock. Several yellow cranes are visible around the ship, and a large blue crane is on the left. The shipyard is filled with various structures, including blue and white buildings, and a body of water is visible in the foreground with a tugboat. The text "Aker Yards" is overlaid in orange at the bottom left.

Aker Yards

EUの“DockLaser” プロジェクト

Project: DockLaser

(funded under the 5. FP for R&D, EC, GROWTH, KA 3)



Coordinator: Meyer Werft (jointly with FDS/CMT)
Partnership: SLV MV, SLV Halle, MobileLaserTech – DE
IZAR – SP, OSS, FORCE – DK, DNV – NO, Fronius – A, VUZ – SK
Cost: ca. 4 MEUR
Web-site: www.docklaser.com

Alms: Development of mobile laser equipment for block and dock assembly, major applications:

- tractor type equipment for long linear hybrid welds
- manually guided equipment for tacking
- manual equipment for welding and cutting in outfitting

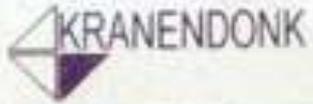


Content: requirements definition
process development and modelling
prototype equipment development
approval, work safety, environmental protection
testing in shipyards



UserGroup: Industrial User Group – members invited world wide !!

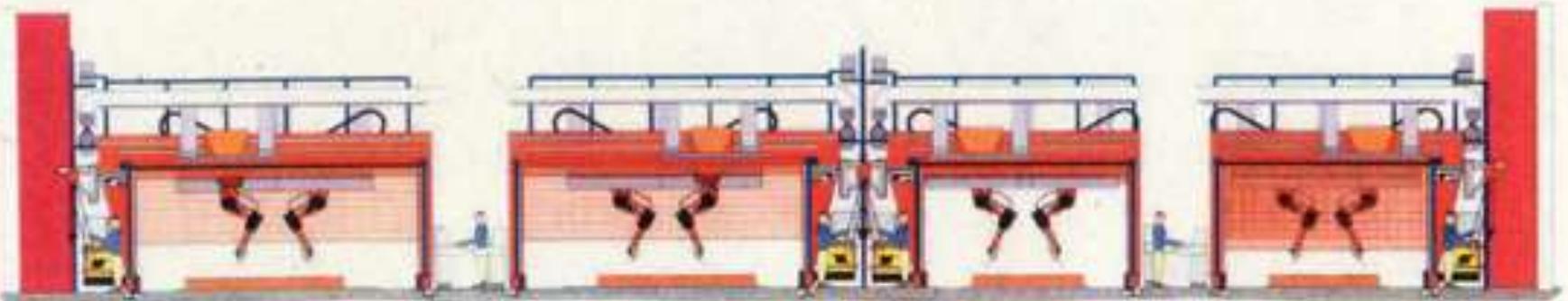
フィンランドのKranendonkの レーザハイブリッド溶接システム



Hardware



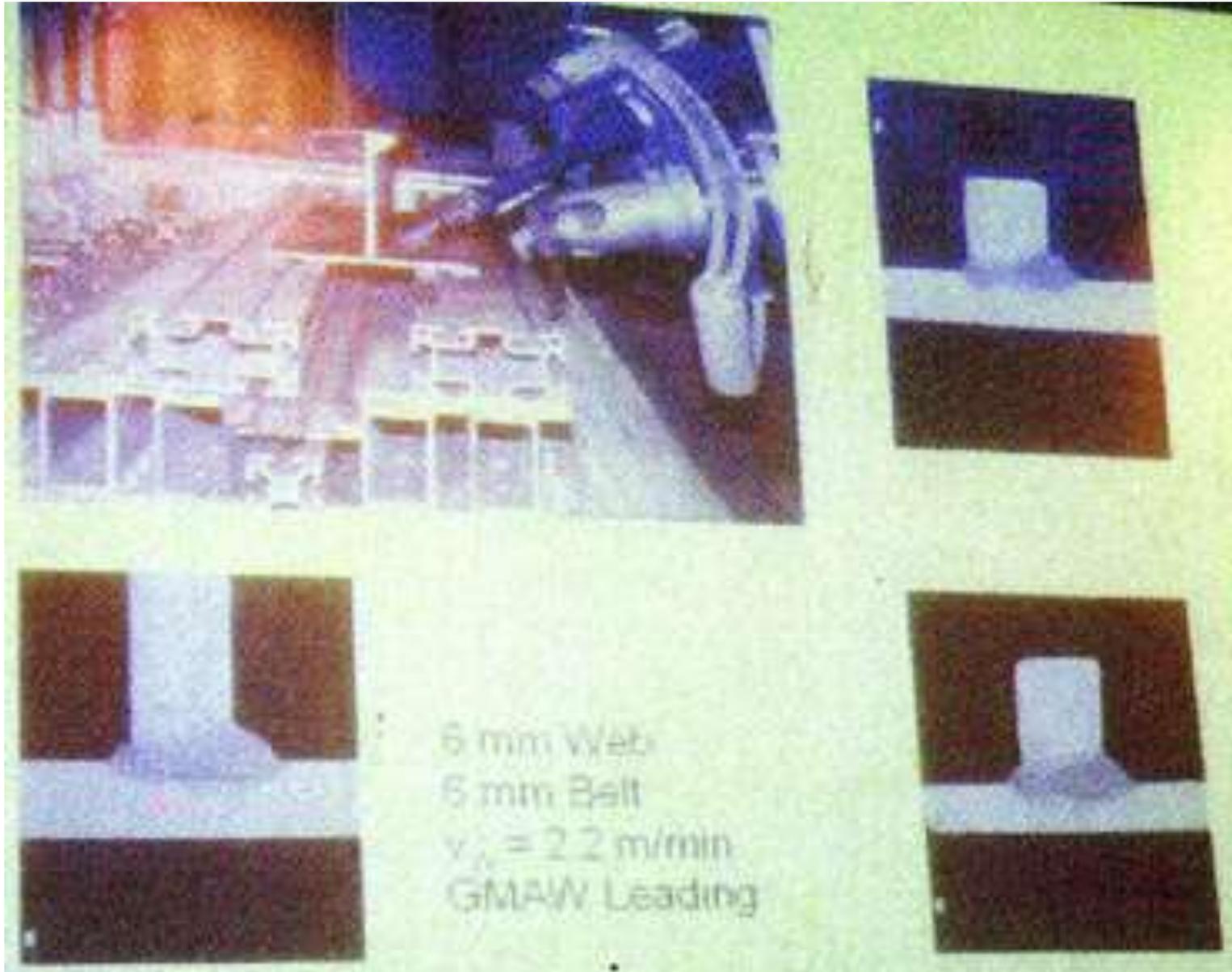
© 2003, KRANENDONK Production Systems, BV



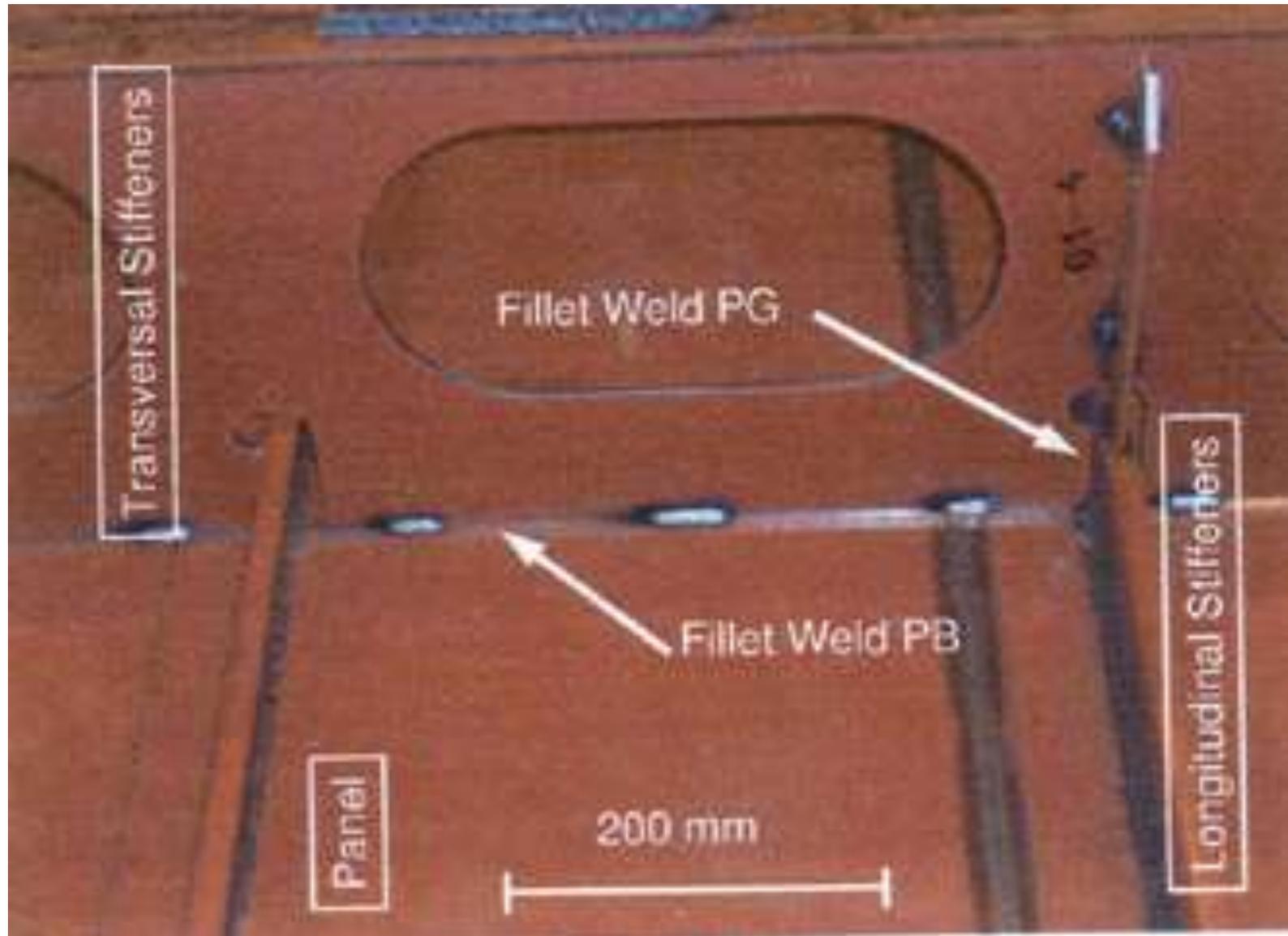
Automation in Shipbuilding



アーヘン工科大学のDilthey教授の講演



ハイブリッド溶接の対象部位



ハイブリッドロボット溶接

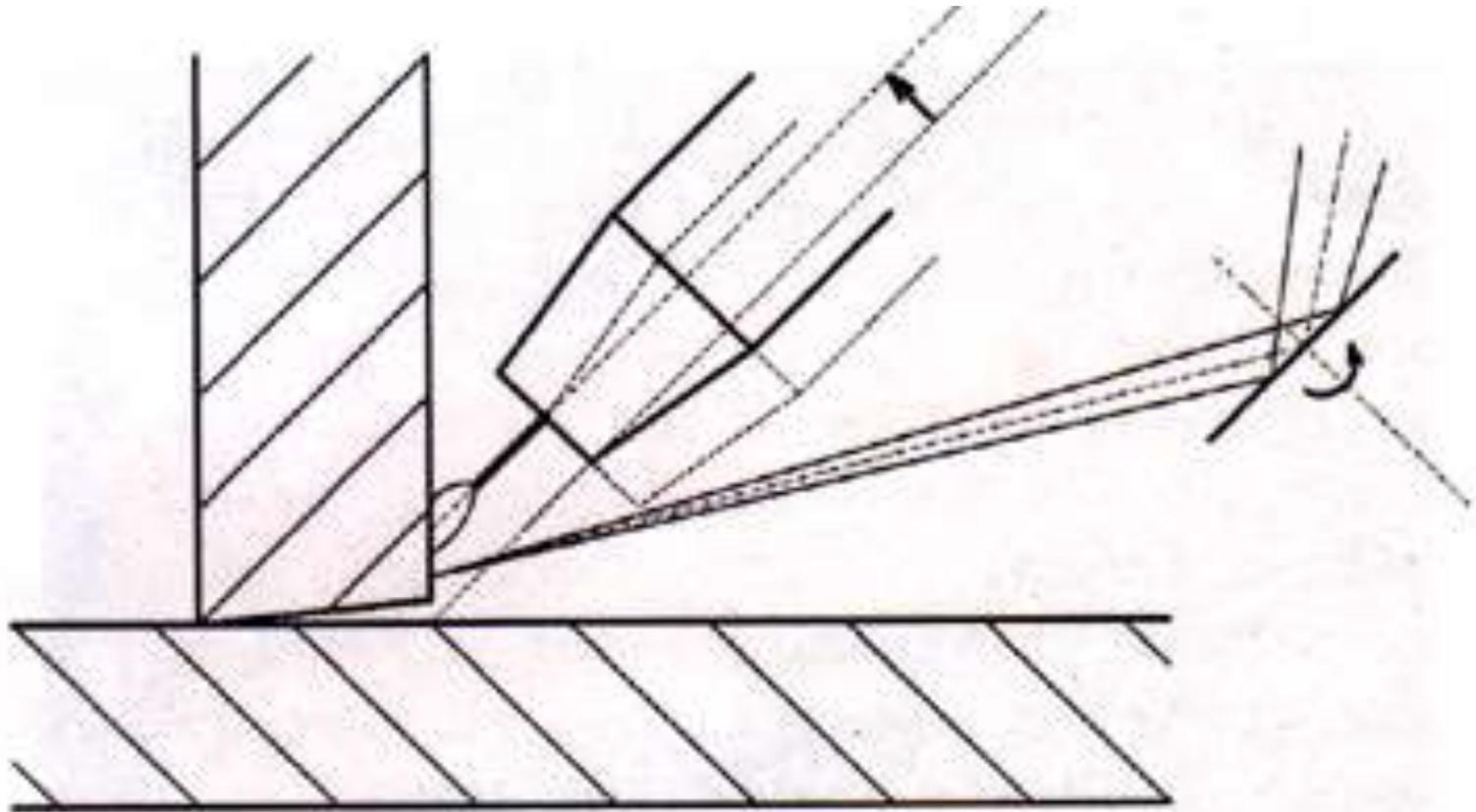
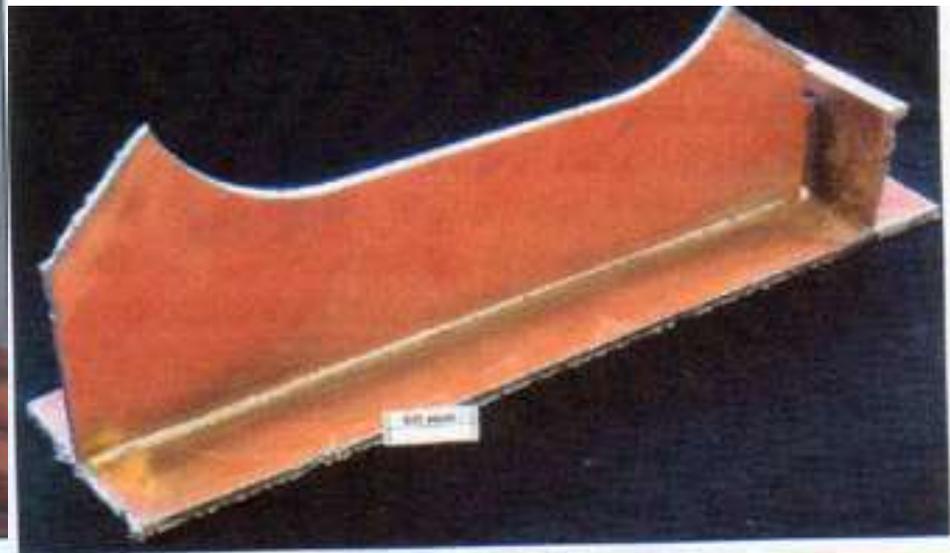
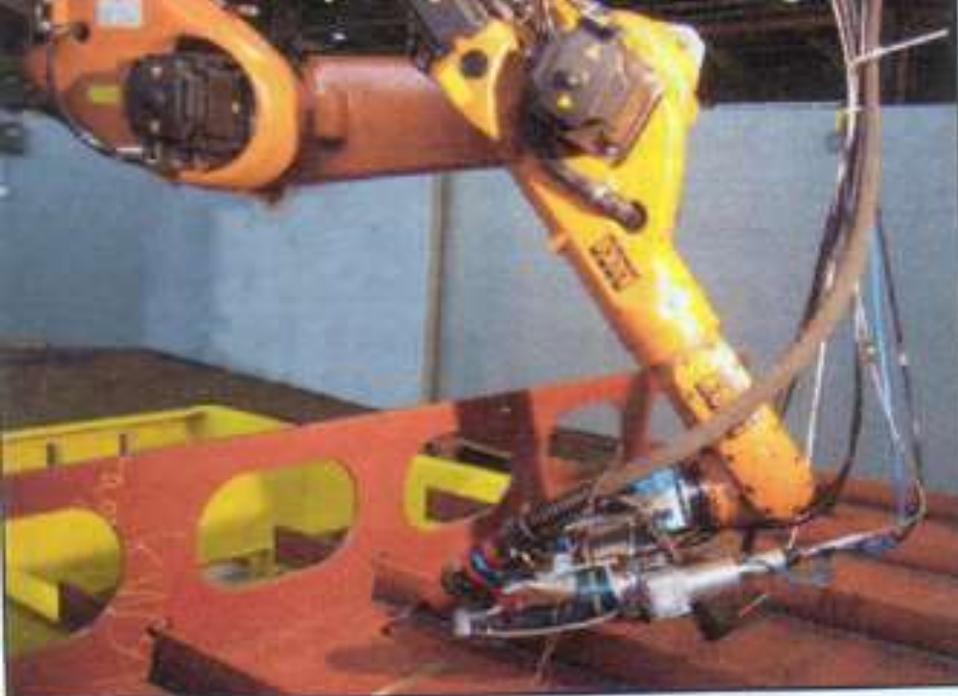


Figure 10: Schematic diagram of decoupling between laser beam and GMA process

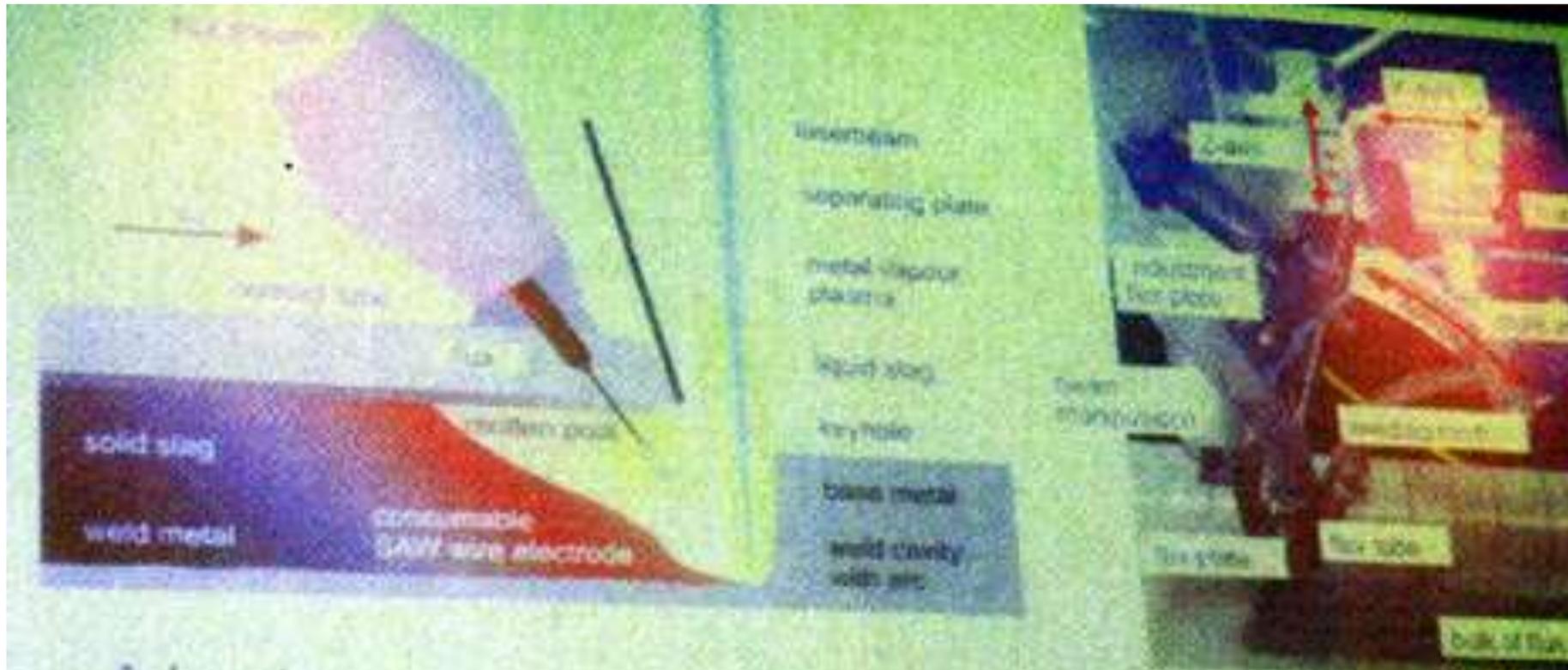


Fillet weld PG
Zero width of gap
web 9 mm, belt 5 mm

$v_s = 1,3 \text{ m/min}$
 $P_L = 10 \text{ kW}$
 $v_D = 7,5 \text{ m/min}$



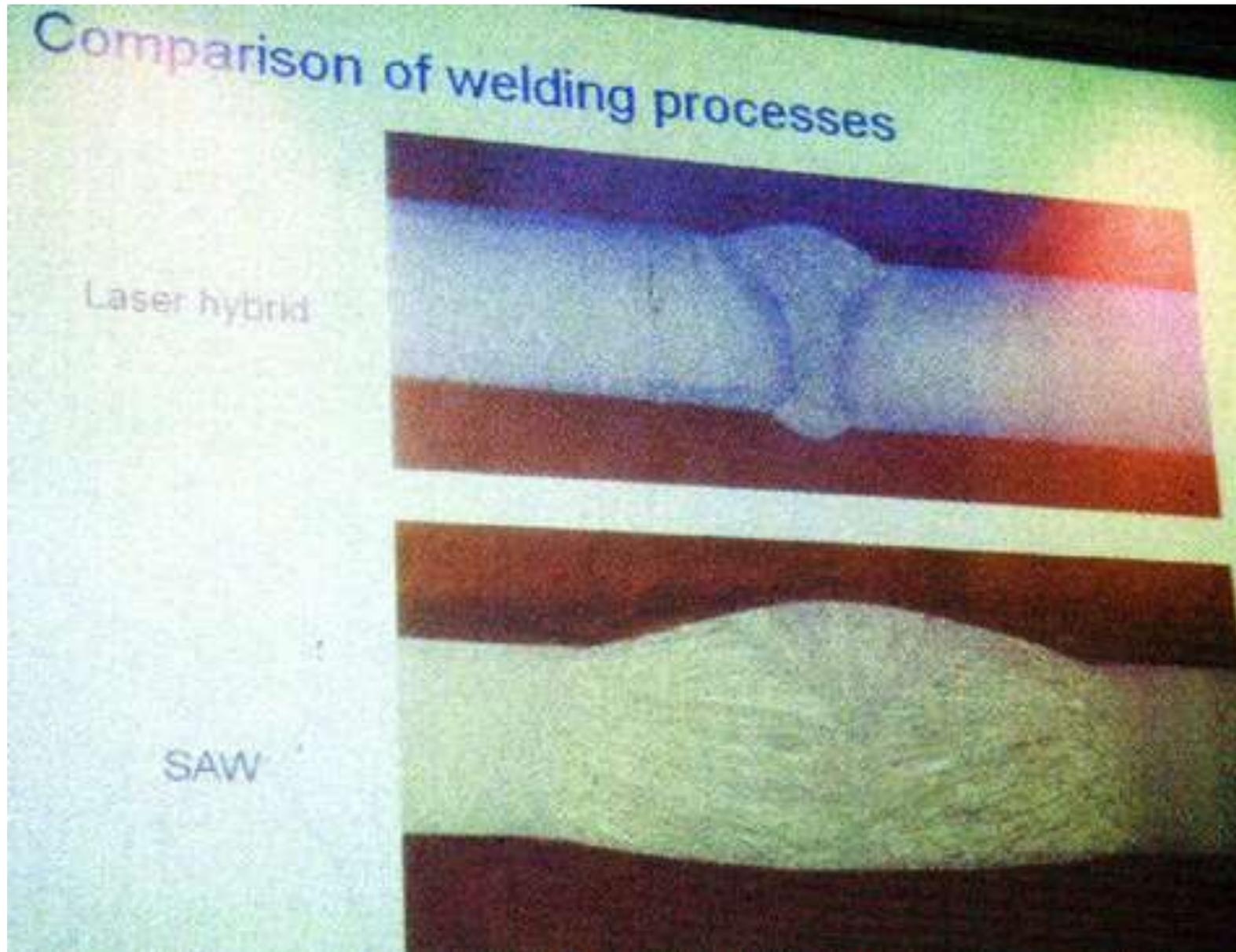
レーザ・SAWハイブリッド溶接



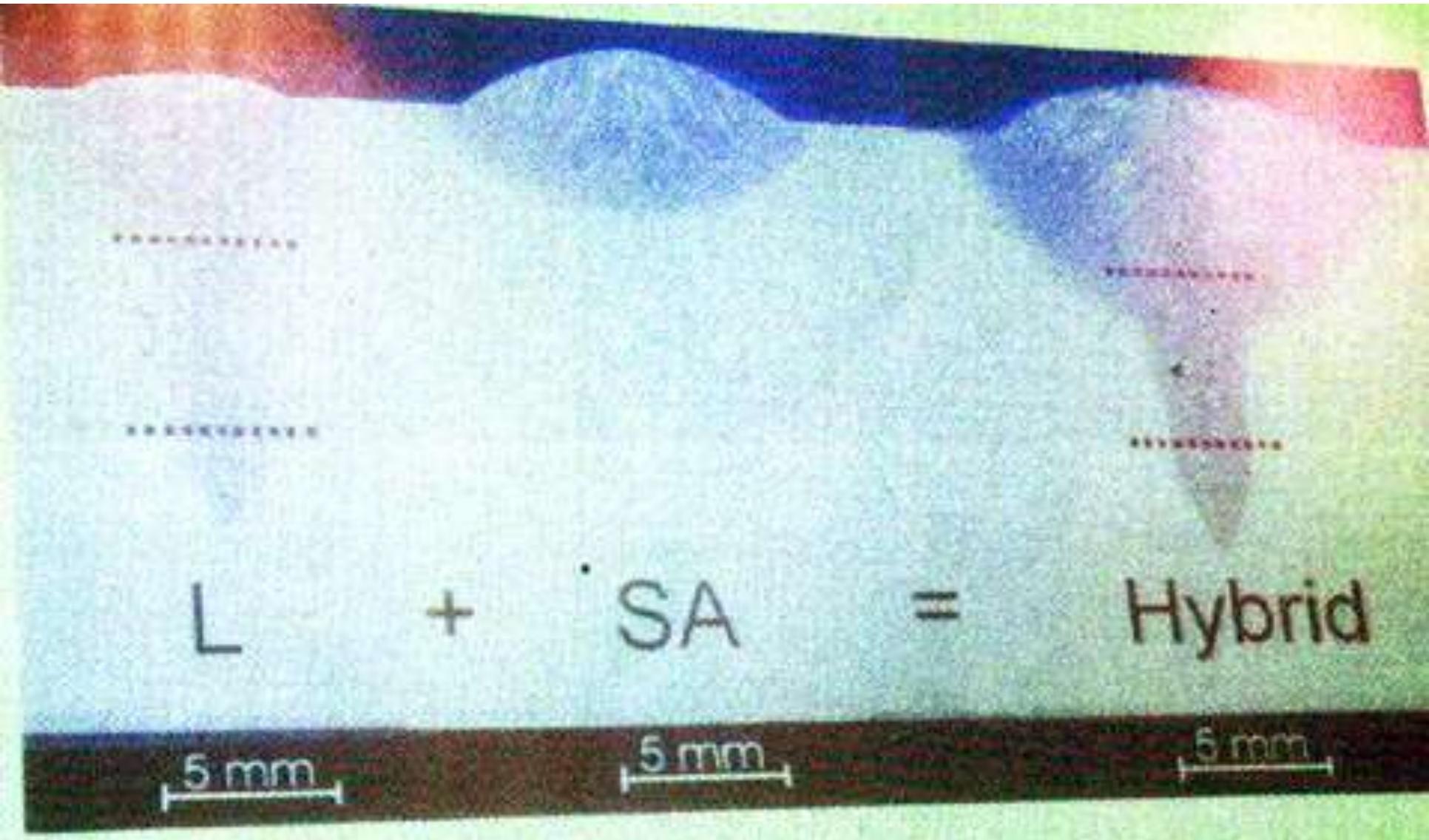
Advantages:

- Good mechano-technological properties through wire-flux combinations
- Improved degassing through the covering of the molten metal by the slag
- Good Gap bridging ability
- Increased welding possibilities

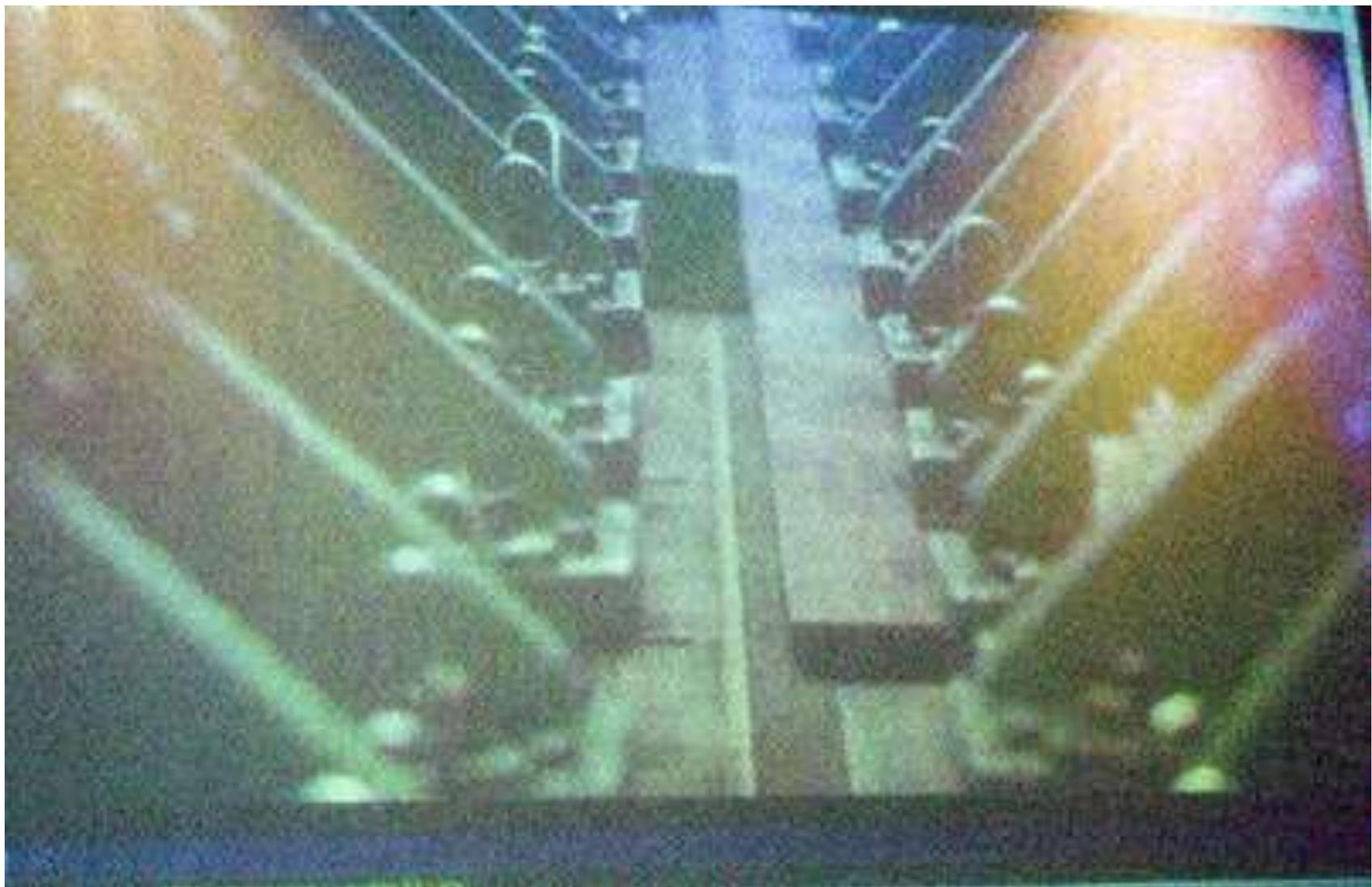
Hybrid 溶接とSAWの比較



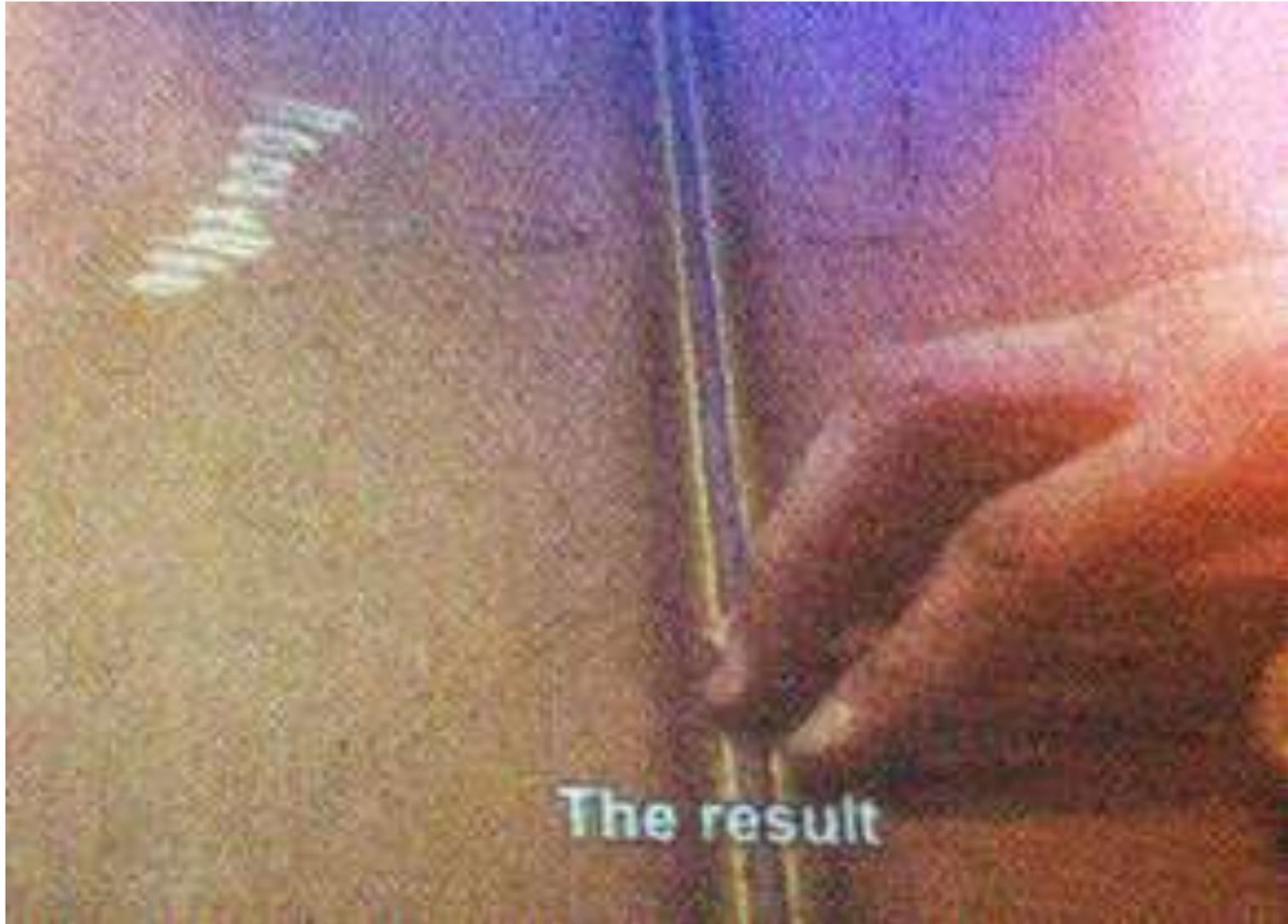
レーザー・SAWハイブリッド溶接



突合せ溶接へのハイブリッド溶接の適用



ハイブリッド溶接のビード外観 (6kWファイバーレーザー+MAG)



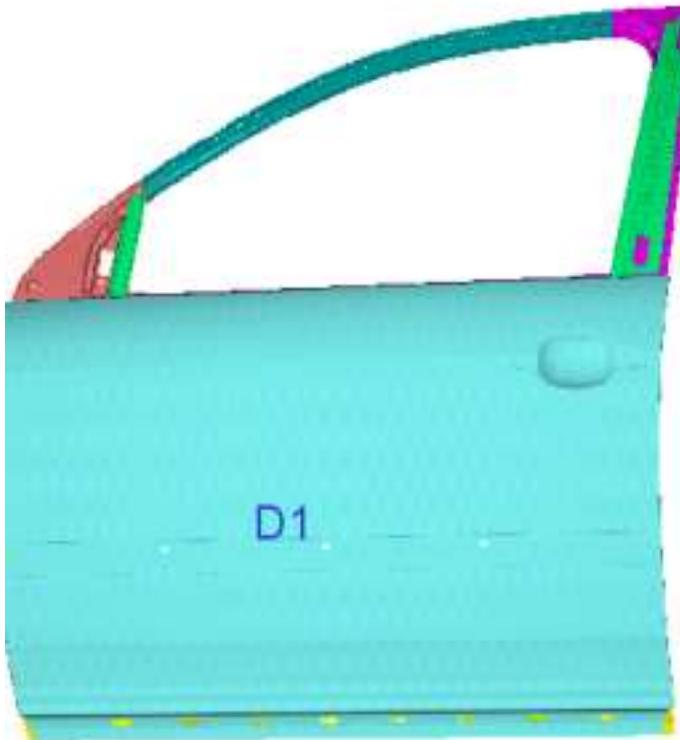
将来計画

- Thicker materials (over 10 mm)
- Stiffener welding / T-girder production using laser hybrid welding
- Implementation of the process to the main panel line



4. 2 ハイブリッド溶接の適用例(その2:自動車・車輻)

Applikation VW - Phaeton



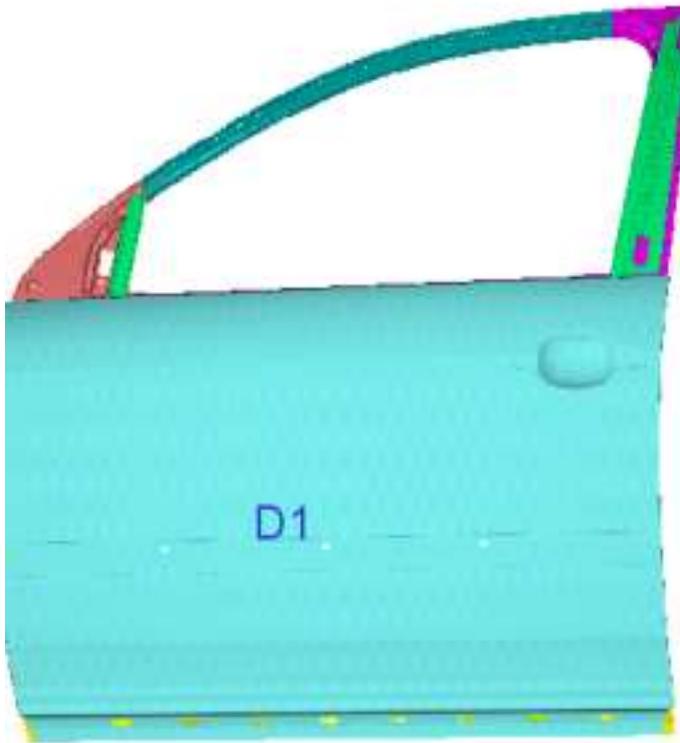
MIG
mm) 7 seams (380

Laser
mm) 11 seams (1030

LaserHybrid
mm) 48 seams (3570

Σ
mm) 4980

Quelle: Volkswagen
AG



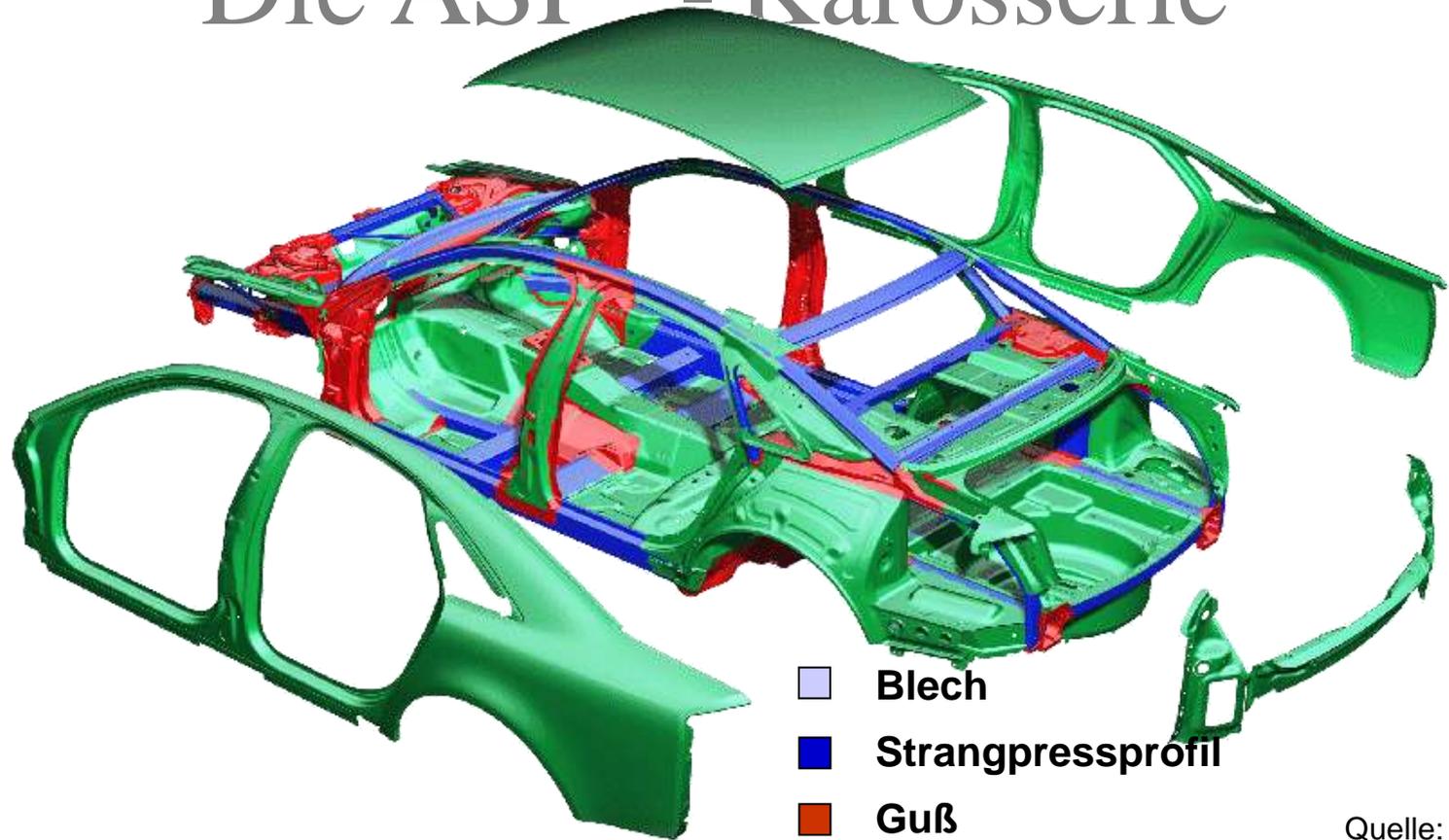
MIG mm)	7 seams (380
Laser mm)	11 seams (1030
LaserHybrid mm)	48 seams (3570
Σ mm	4980

自動車ドア溶接用のレーザヘッドの開発 (Fronius)



新型 AUDI A8 (D3)

Die ASF[®] - Karosserie



Quelle: Audi

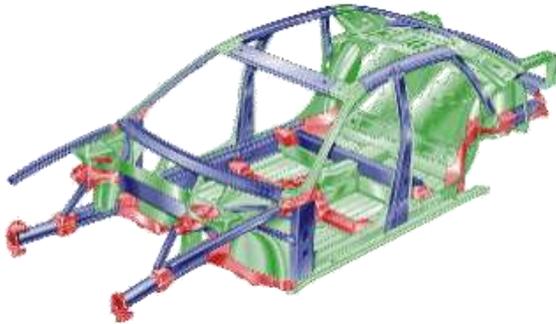
各モデルの車体溶接法

Audi A8 (D2)

SOP 1994

D-Klasse

249 kg, 334 Teile



Fügetechnik

1100 Stanzniete

70 m MIG-Nähte

500 Schweißpunkte

178 Clinchpunkte

Audi A2 (W10)

SOP 1999

A0-Klasse

156 kg, 238 Teile



Fügetechnik

1800 Stanzniete

20 m MIG-Nähte

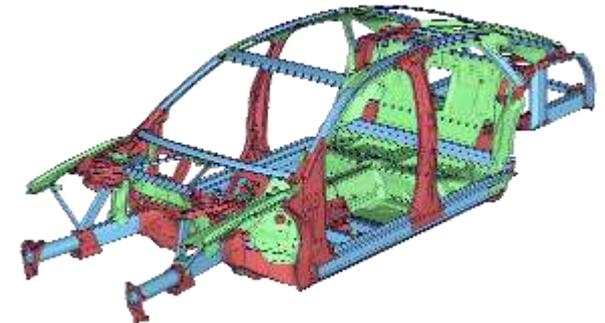
30 m Lasernähte

Audi A8 (D3)

SOP 2002

D-Klasse

287 kg, 267 Teile



Fügetechnik

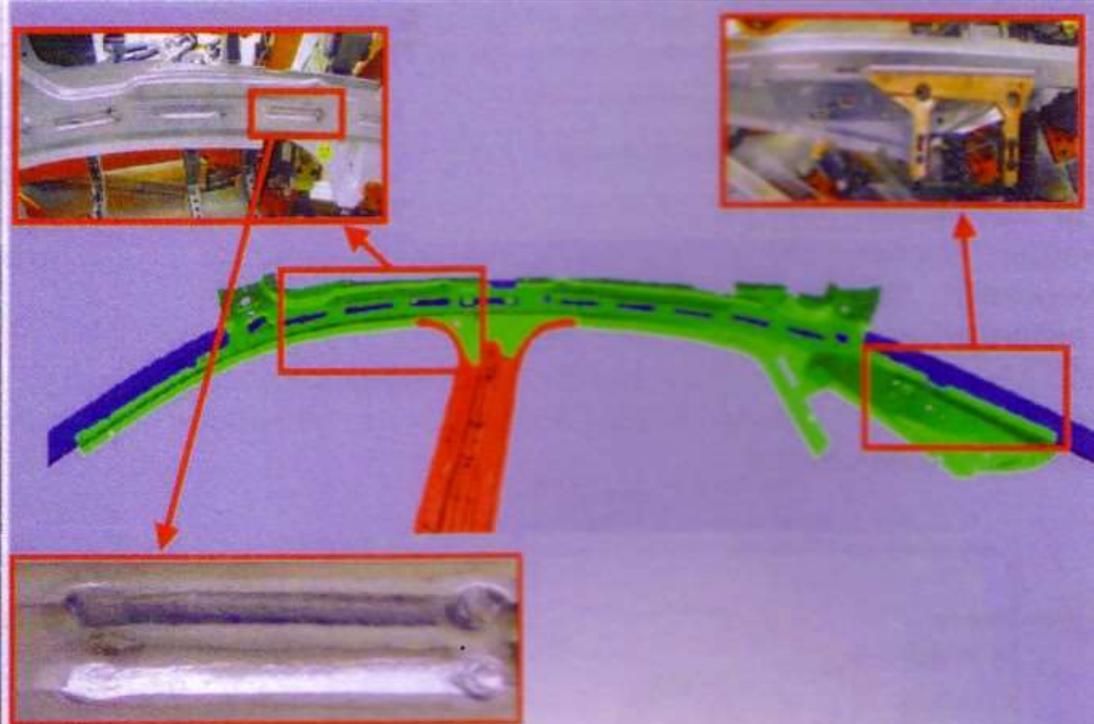
2400 Stanzniete

64 m MIG-Nähte

20 m Lasernähte

5 m Hybridnähte

船体および自動車車体フレーム のハイブリッド溶接

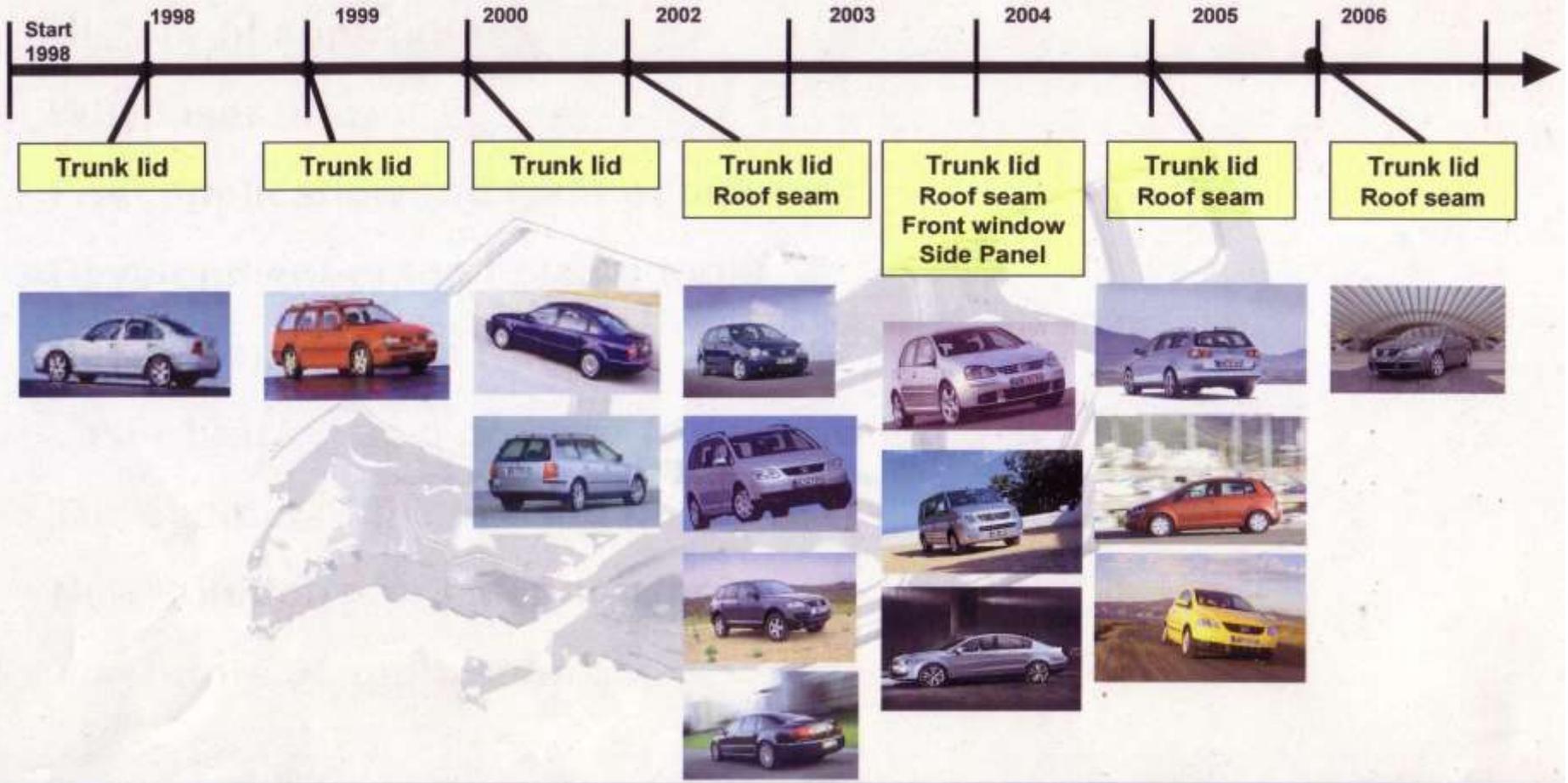


自動車車体パネルの レーザ溶接とレーザろう付



フォルクスワーゲンにおけるレーザろう付の導入

History of applications

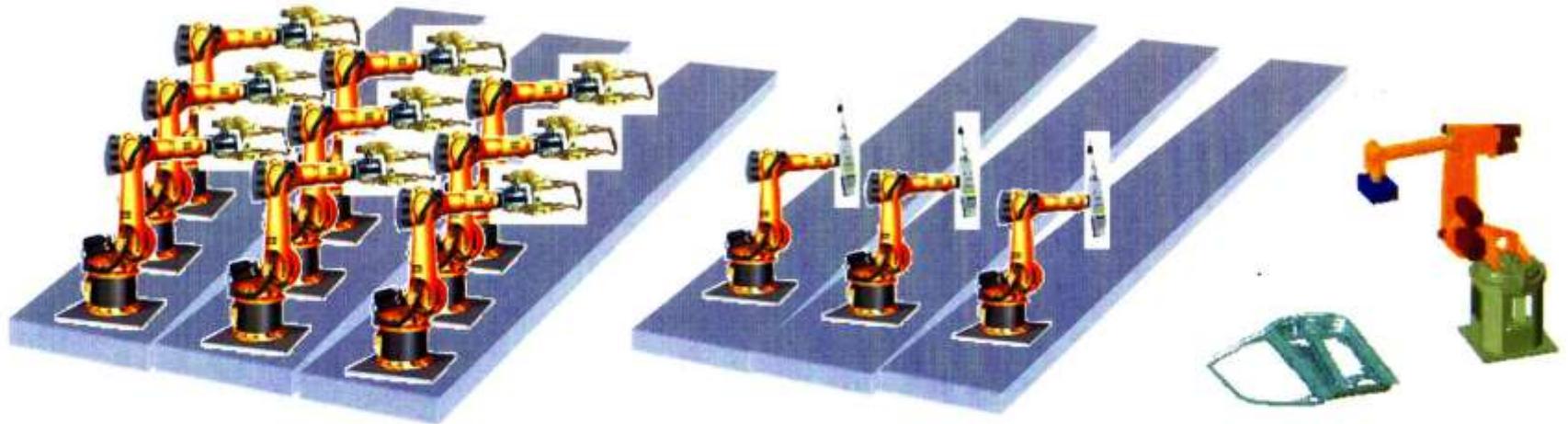


03.04.2007

自動車パネルの溶接法の変遷

TRUMPF

3. Megatrends in Laser Application.



Past

9 RSW-Robots

100% Invest

2 Mio. €

2003

3 Laser-Robots

100% Invest

2 Mio. €

LP-Nd:YAG

Now

1 Laser-Robot

50% Invest

1 Mio. €

Disk-Laser

ベントツにおけるレーザ溶接の導入例



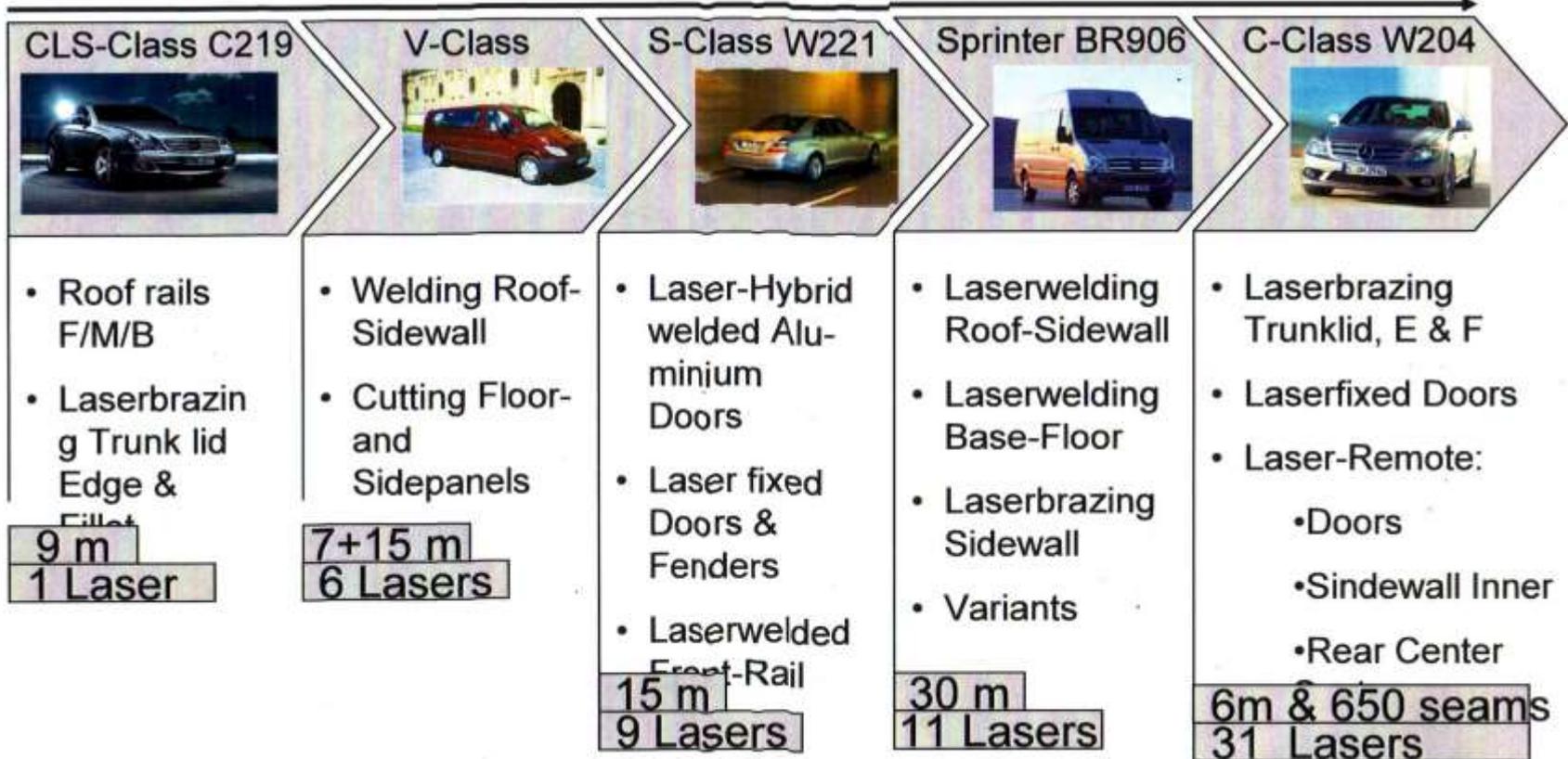
Mercedes-Benz

History of Laser @ Mercedes-Benz

2004

2005

2007



4. 3 ハイブリッド溶接の適用例 (その3 : 重電、エネルギー産業、等)

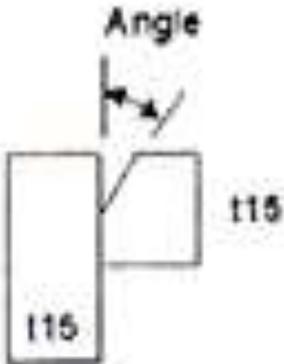
東芝は

肉厚 16 mm のステンレス鋼製圧力容器の鋼板を溶接するのに

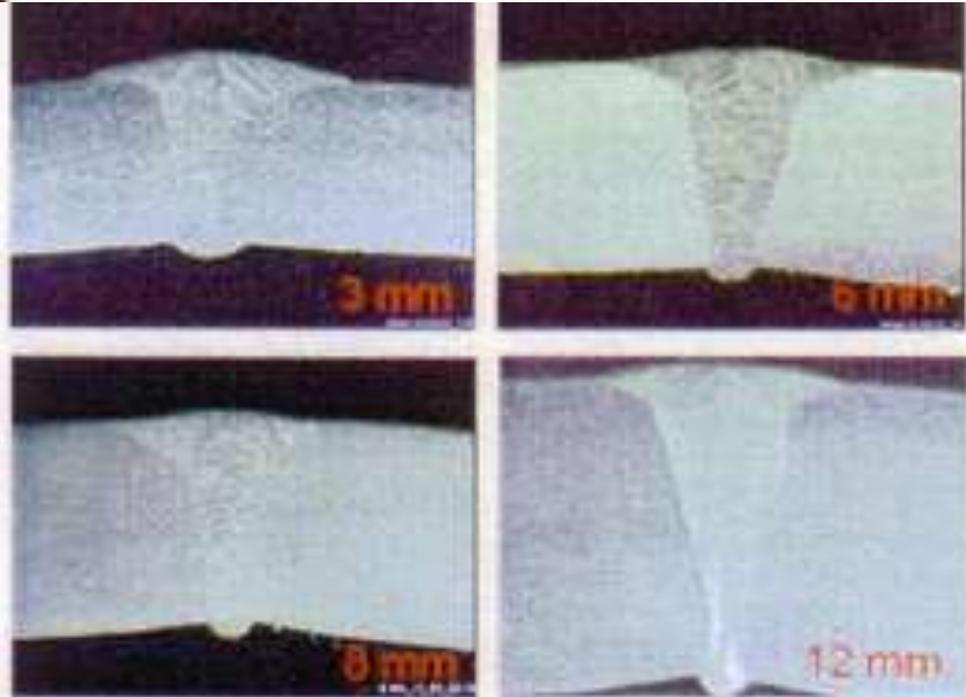
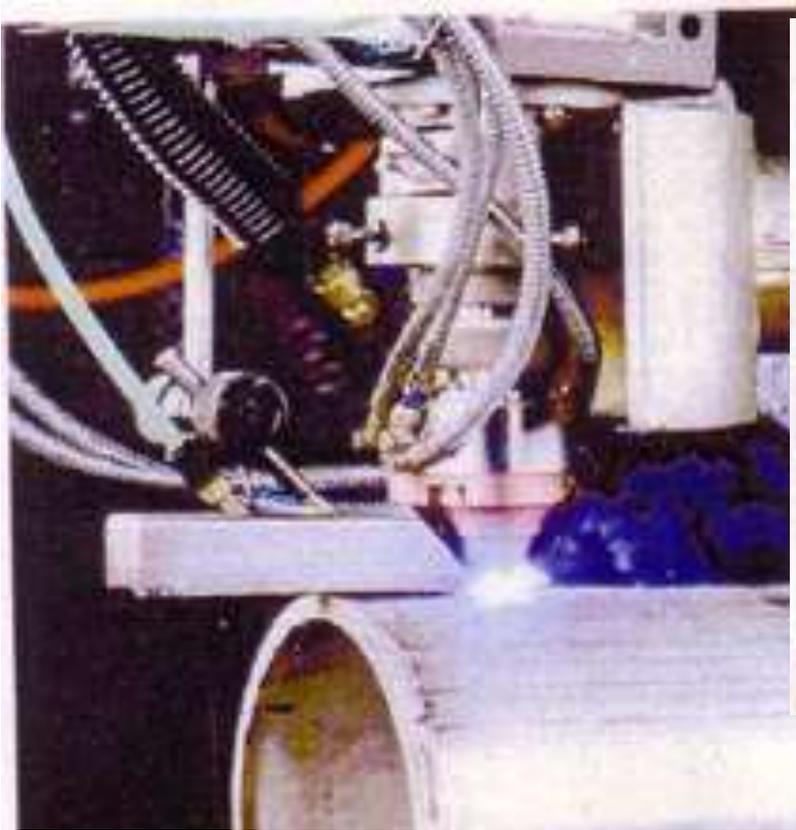
6 kW CO₂ レーザと MIG 溶接のハイブリッド溶接を適用した

肉厚 16 mm のステンレス 鋼製圧力容器のハイブリッド溶接部

Welding condition		Laser power	3kW	4kW	5kW
1layer: Laser 6kW CO ₂ , CW 700mm/min 2layer: Laser arc hybrid 700mm/min MIG 320A 30V	Angle 20° Cross section	JIS RT			
			2	3	4
	Angle 25° Cross section	JIS RT			
			2	3	3



ラインパイプのハイブリッド溶接 (TWI)



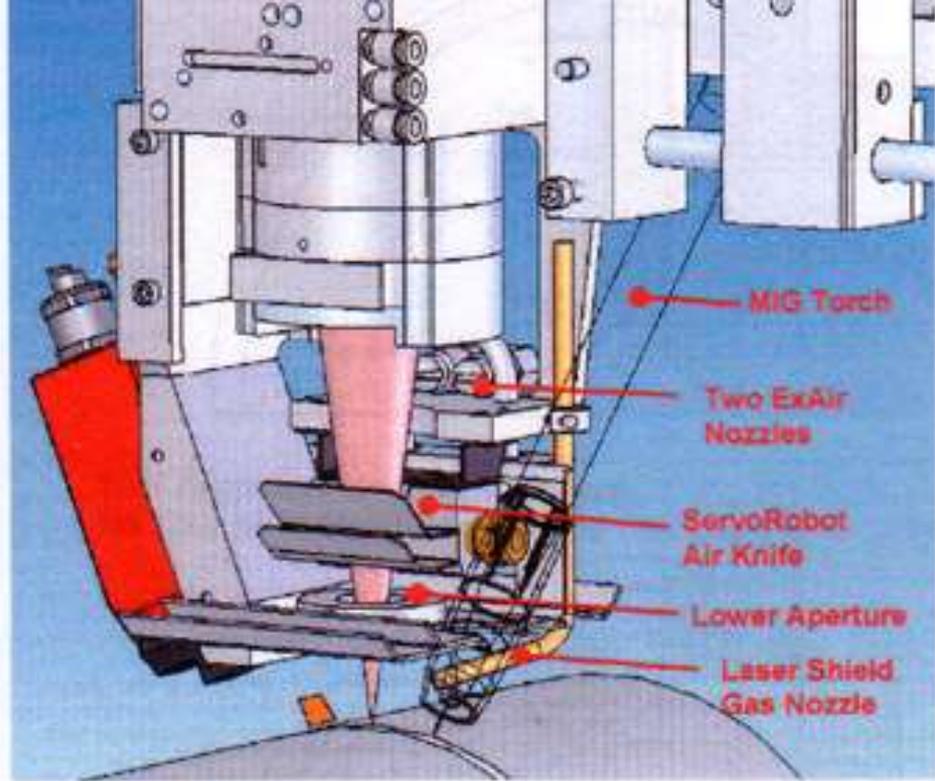
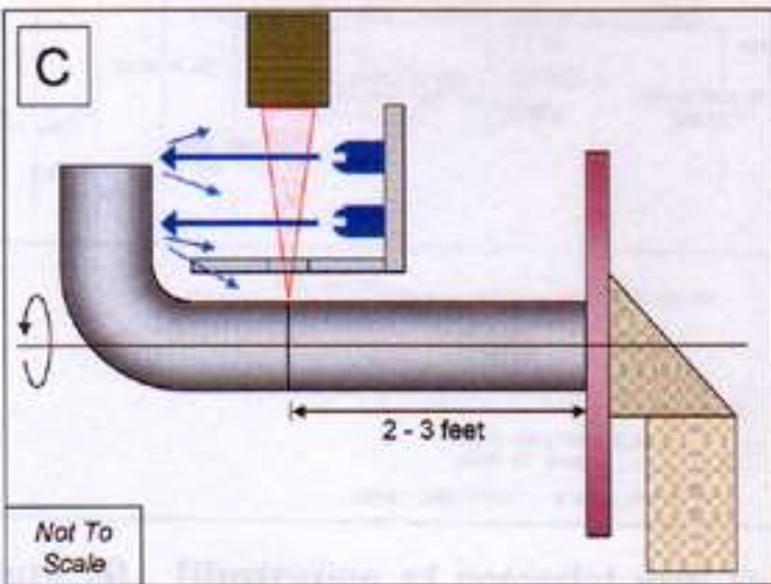


Figure 2. Cross section of conventional multipass pipe weld with 12.7 mm (0.5 in) thickness.

造船配管のハイブリッド溶接

米国ペンステート大 ARL

5. ハイブリッド溶接はどこまで進む？

ハイブリッド溶接の発展を促す要因

- ・ 多様化する輸送機器の軽量化と高速化
- ・ 石油の高騰・資源の枯渇と機器の薄板化
- ・ 溶接製品の低歪化、高精度化
- ・ 溶接施工の 低入熱化、 高速溶接化
- ・ レーザ加工機器の進展
(高出力ファイバーレーザの出現)
- ・ インプロセス制御の発達
- ・ 第4の波「光機電脳時代」の到来

ITER核融合炉 ラジアルプレートの溶接

石川島播磨重工業

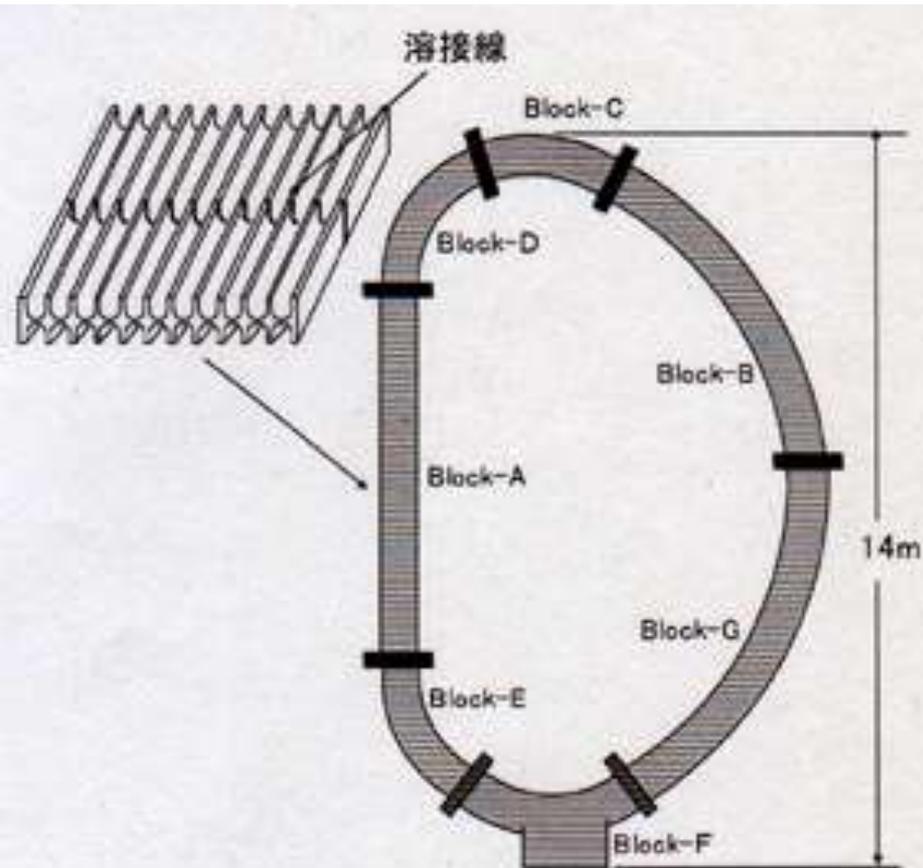


図 13 ラジアルプレート概念図および溶接部形状

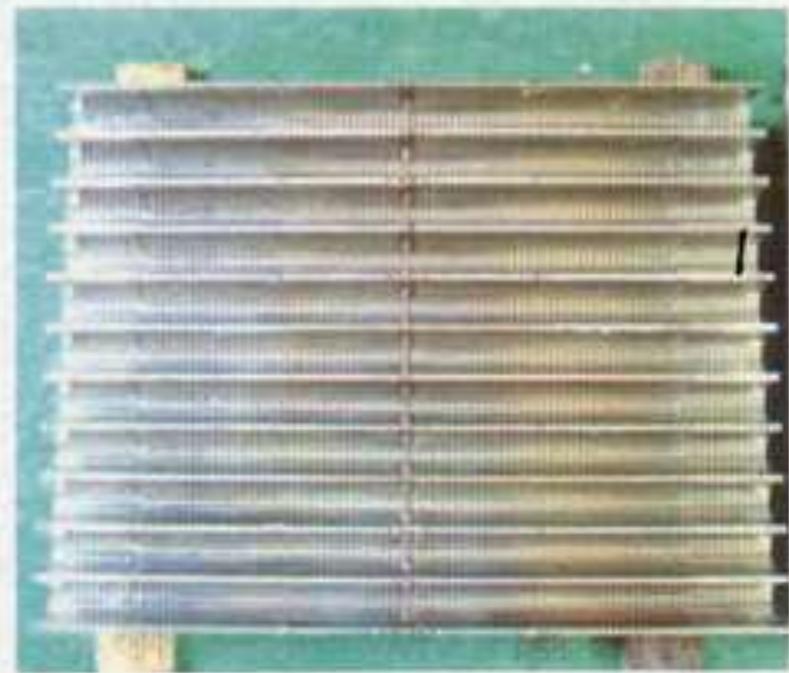
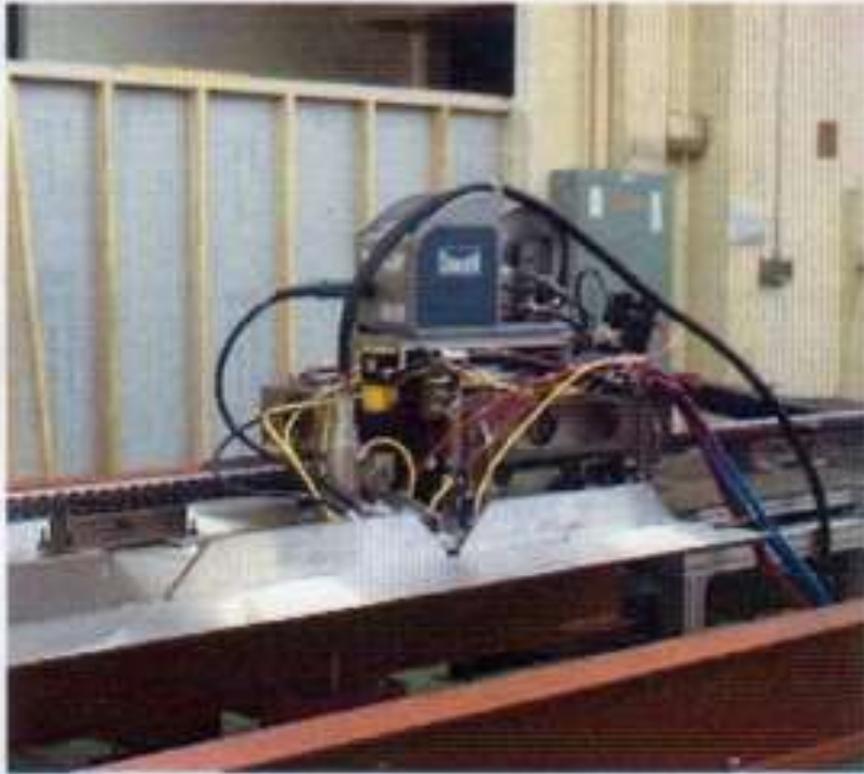


図 14 ラジアルプレート溶接試験体外観

ITER CPのラジアルプレートのハイブリッド 自動溶接装置 7kWファイバーレーザー使用



(a) 溶接装置外観



(b) 大型試験体隅肉溶接状況

図 12 レーザ・アークハイブリッド自動溶接装置

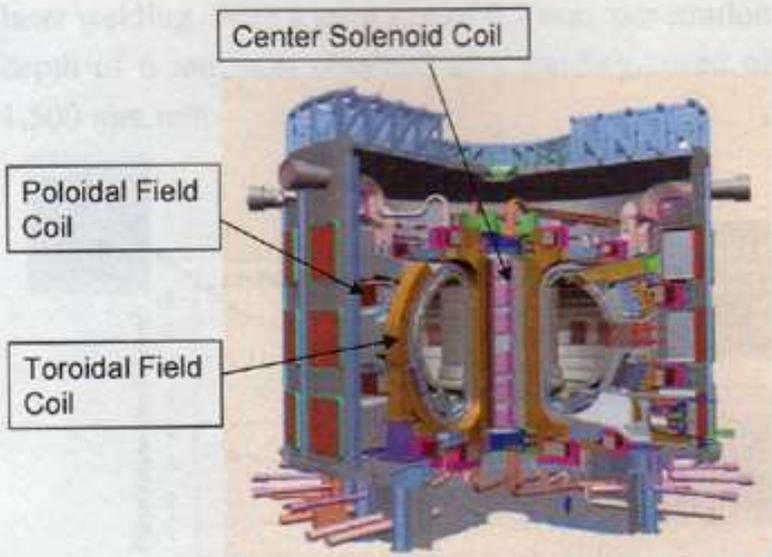


Figure 1 ITER superconducting coil system

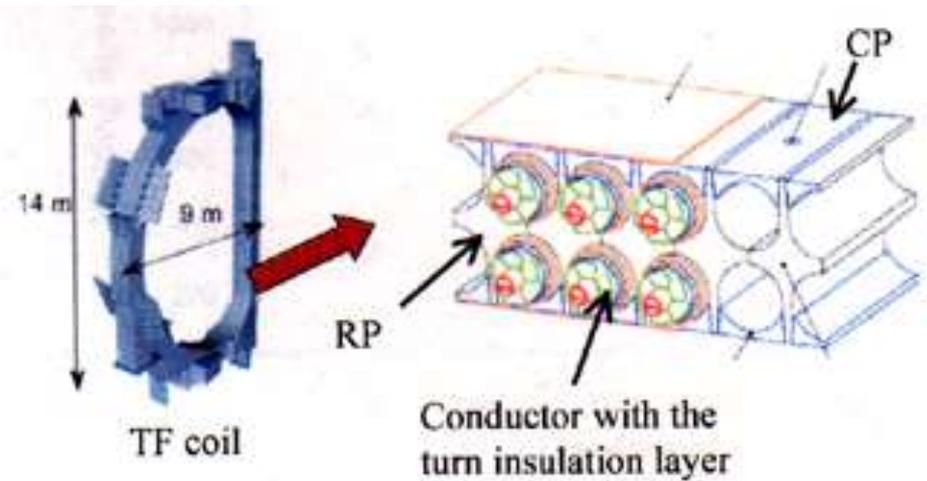


Figure 2 TF coil construction

The following is required for the CP welding.

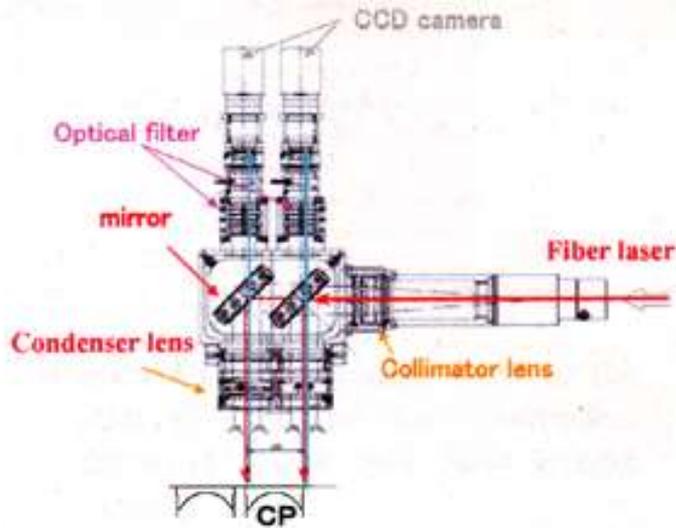
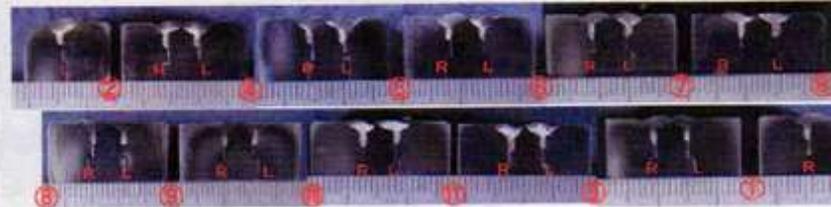


Figure 12 Twin spot laser-arc hybrid welding head



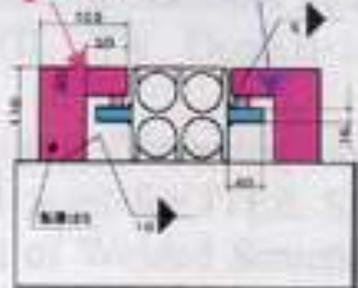
Bead appearance



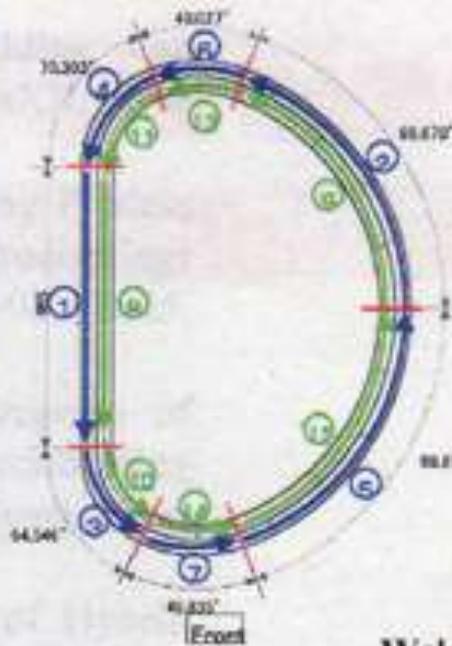
Macro cross section

Figure 20 Post-welding appearance and cross-section close-up

**Restraint
piece** **Wedge**



Restraint method



Welding sequence

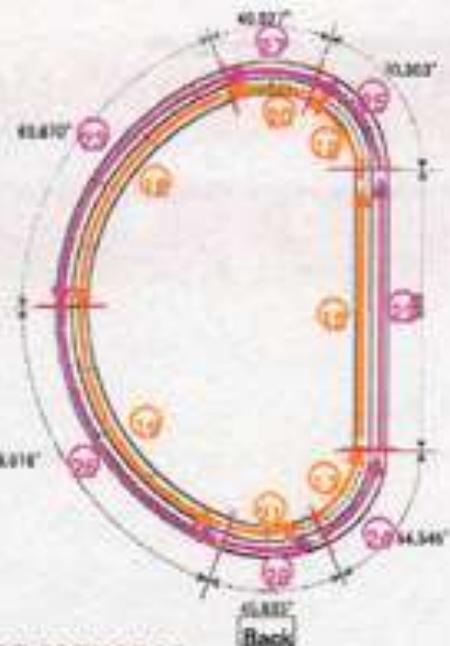


Figure 22 Restraint method and welding sequence

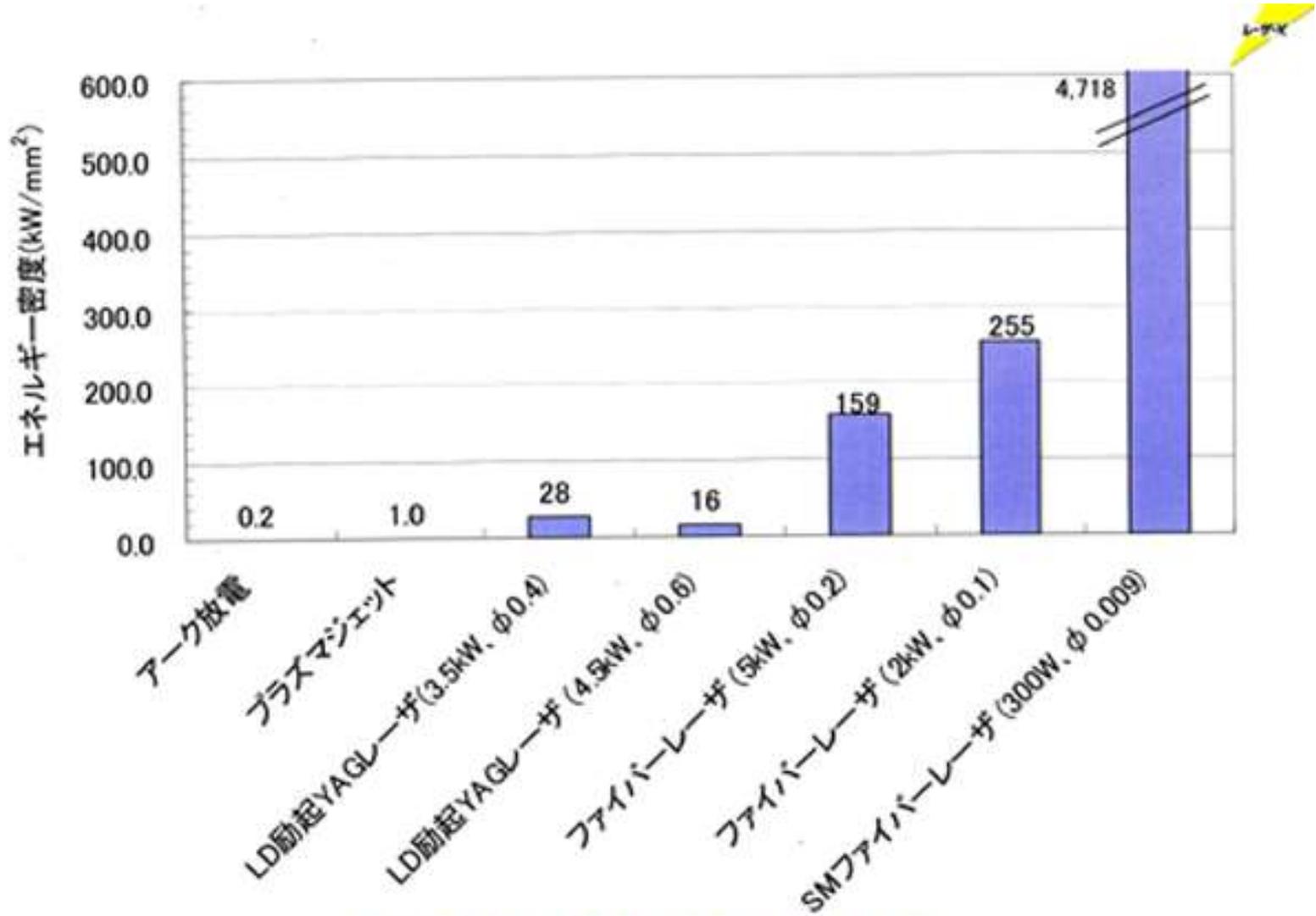


Figure 23 Welding conditions



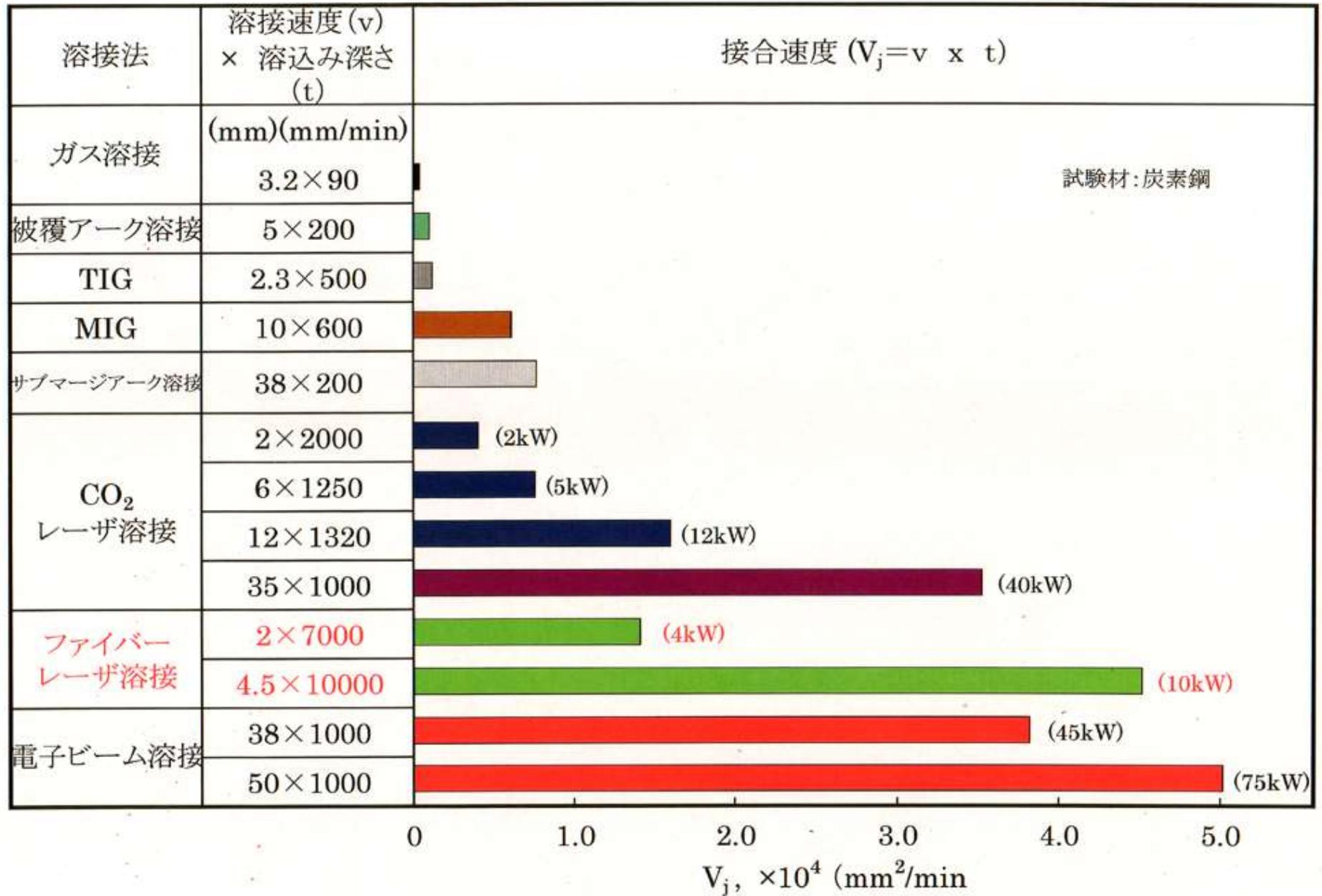
Figure 24 Photograph of post-welding appearance |

エネルギー密度の比較(荒谷)

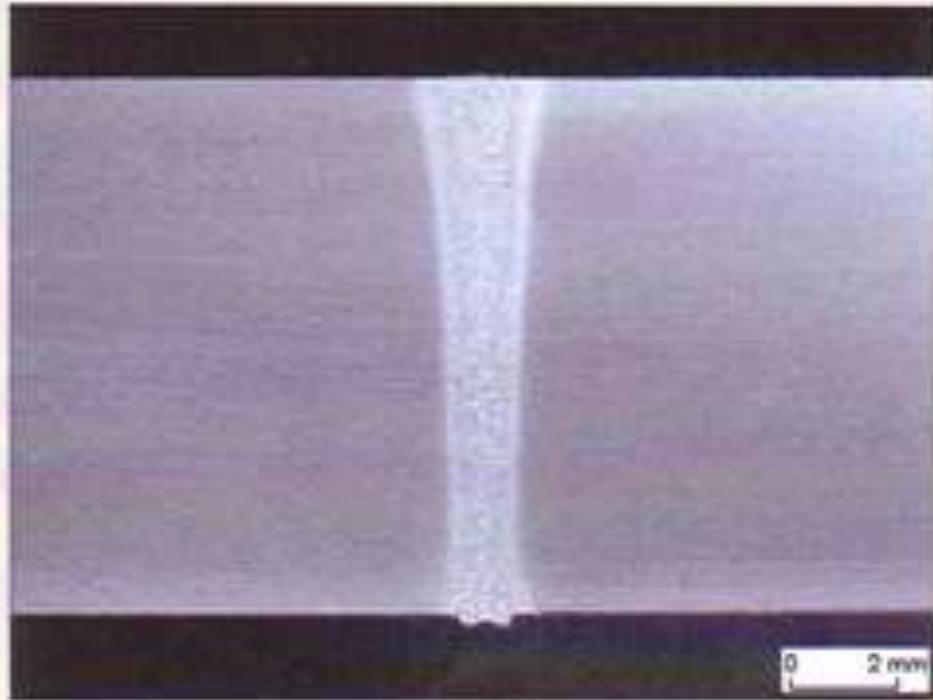


溶接・切断熱源のエネルギー密度比較

Joining Speed of different welding processes



10kWファイバーレーザーの溶込み



$P = 10 \text{ kW}$

$v = 2.2 \text{ m/min}$

X70, $t = 11.2 \text{ mm}$

17kWファイバーレーザーによるパイプ溶接



Courtesy of Bias Bremen Vietz GmbH



ビードオンテスト
X70 t=11.2mm
Power =15kW
FC/125:FL/500mm
Speed =2.8m/min.



courtesy of Bias, Vietz GmbH

bias

10kWファイバーレーザーによる隅肉溶接

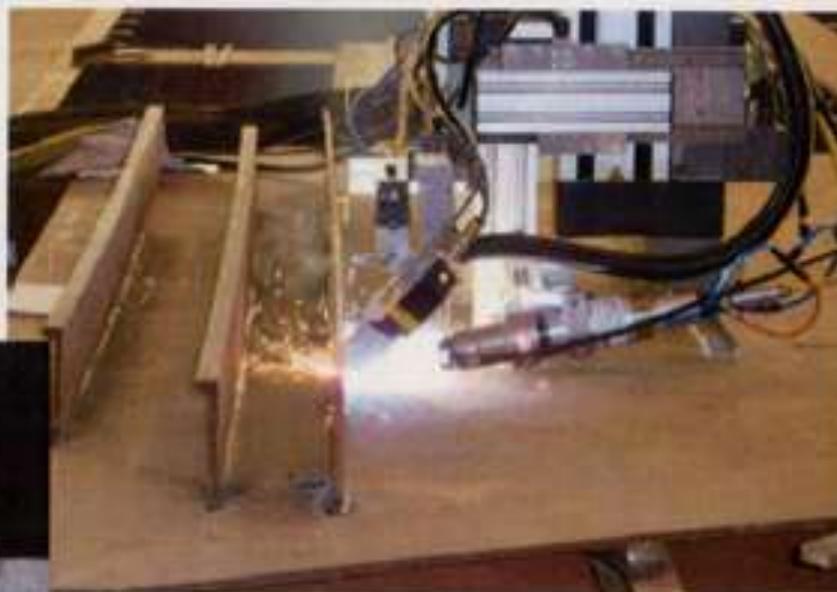
DOCK-LASER equipment



- Laser GMA hybrid welding tractor (fibre laser version)

DOCK/LASER

- T-joint welding at Navantia, Spain
- 10 mm stiffener thickness
- 1.5 m/min welding speed



Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Mecklenburg-Vorpommern GmbH

DVS

14

I P G
PHOTON

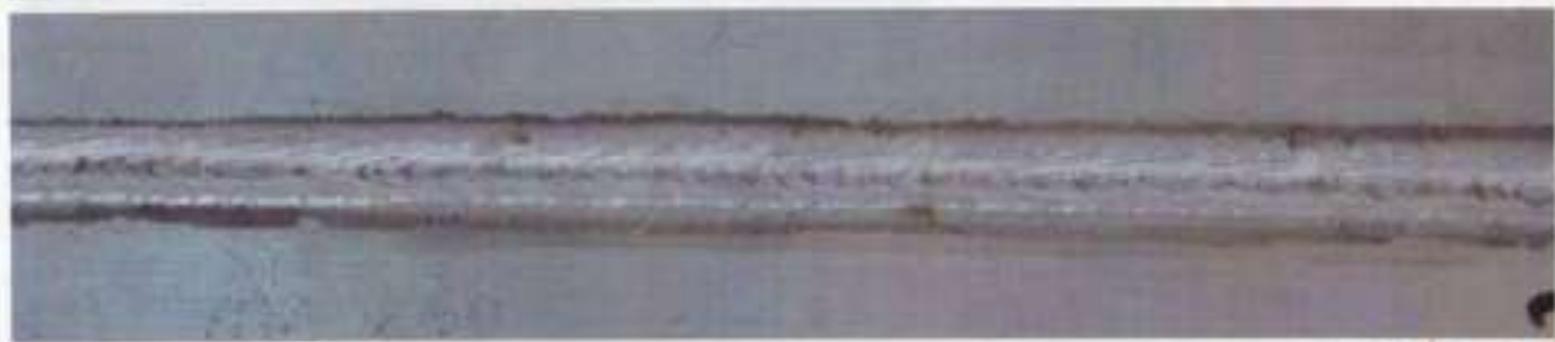
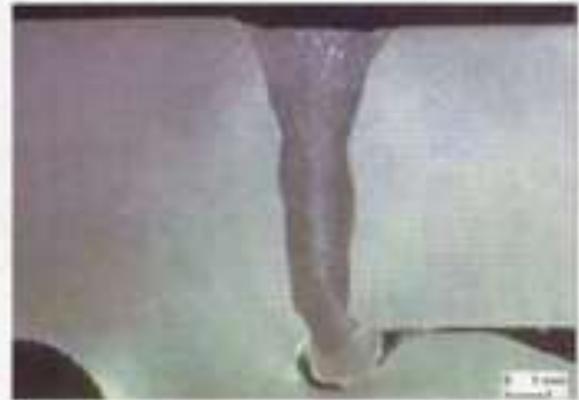


水平隅肉溶接 左:入射側、右:出射側

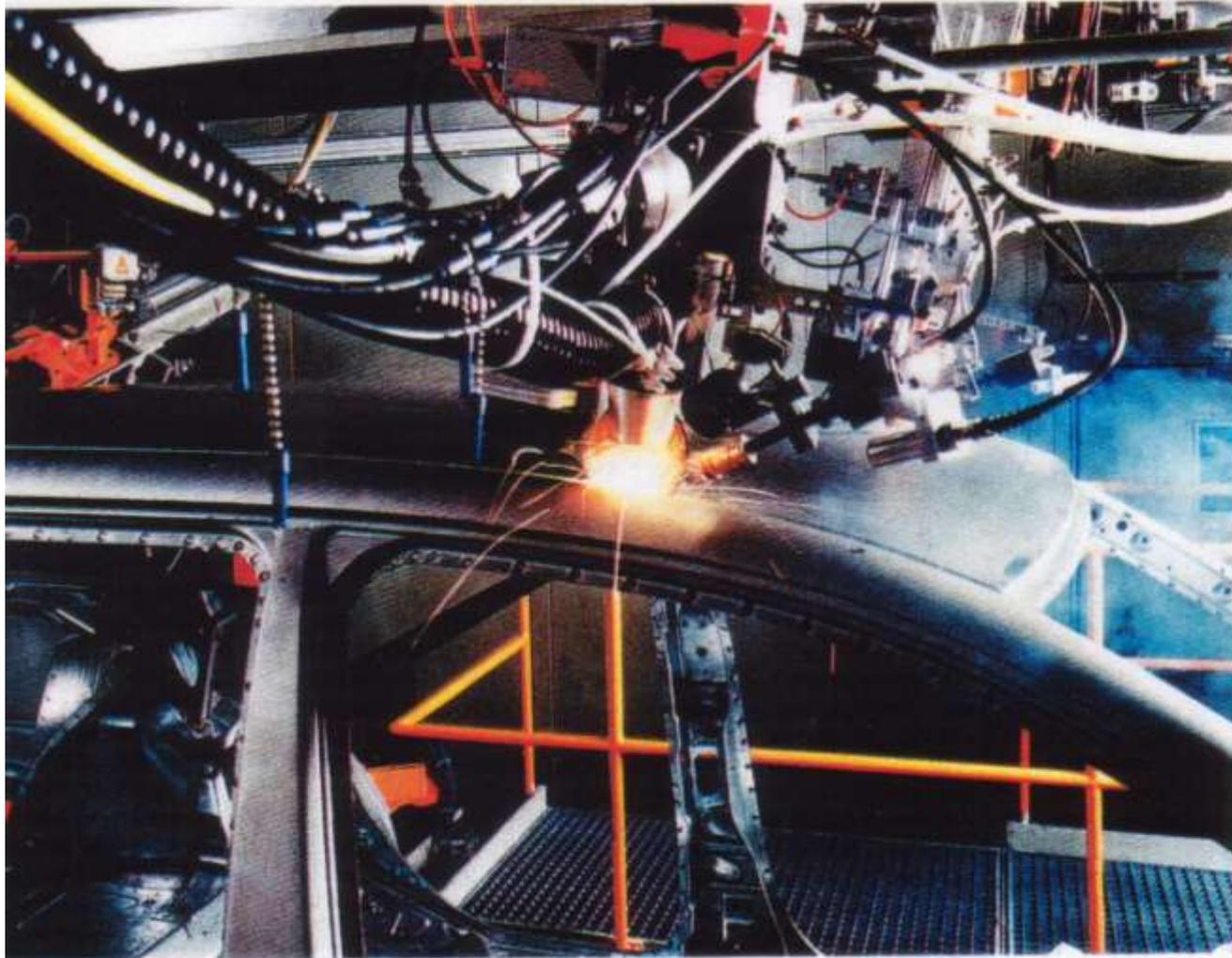
10kW ファイバーレーザーによるハイブリッド溶接



EN-AW 6008, $t = 8 \text{ mm}$
 $P_L = 10.5 \text{ kW}$
 $v_S = 4 \text{ m/min}$



インプロセス制御の発展

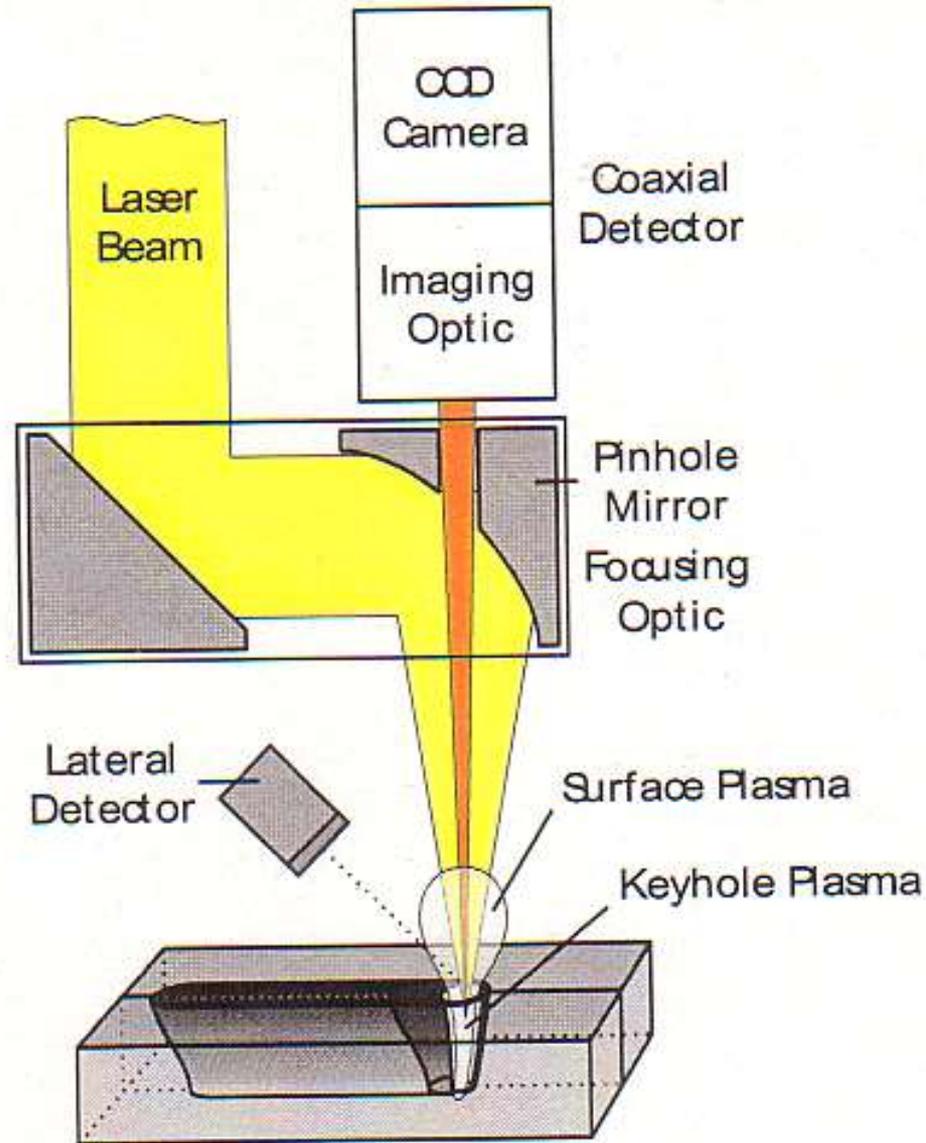


Mit seiner Möglichkeit der Strahlführung über Laserlichtkabel ist der Festkörperlaser heute ein unverzichtbares Werkzeug in der Automobilindustrie – beispielsweise zum Dachnahtschweißen.

With beam delivery via fiber optic cables, the solid-state laser is today an indispensable tool in the automotive industry – e.g. for roof welding.

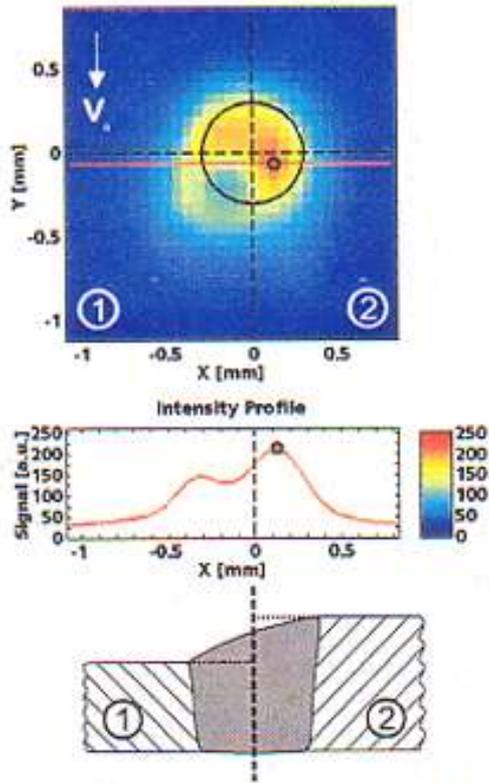
自動車ルーフとドアパネルの自動レーザー溶接

光学的信号（反射光,貫通ビーム光）のモニタリング： レーザ溶接部の同軸プロセス制御(CPC)システム

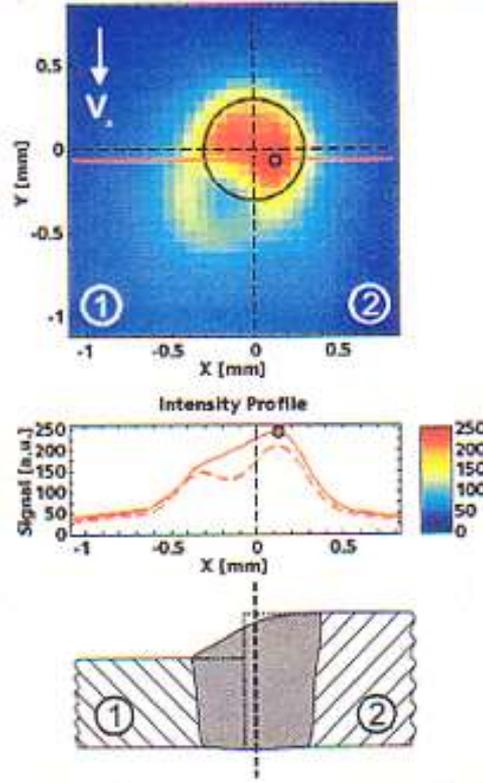


シーム倣いのためのCPC画像の変位測定： フラウンホファーレーザ研究所

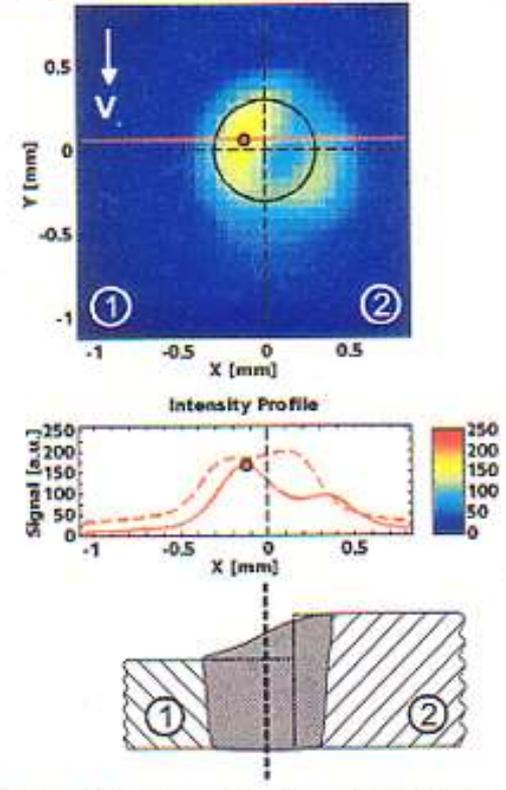
No seam track deviation
(reference)



Seam track deviation
+0.1 mm into material ②



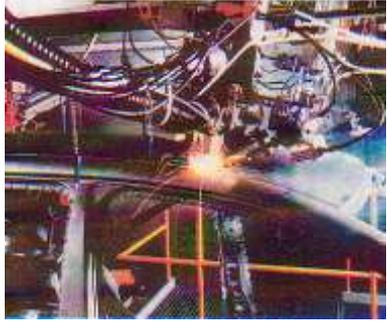
Seam track deviation
-0.25 mm into material ①



Material ①: ST14, 0.8 mm, Material ②: ST14, 1.2 mm, Laser Power: 3 kW Nd:YAG, Focus \varnothing : 600 μ m, Feed Rate: 5.5 m/min, Gas Flow: He 15 l/min

figure 3: characteristic CPC images for seam track deviation during tailored blank welding

4つの波と生産(溶接)技術の進展

第1の波 人カ・畜カ	第2の波 機械カ	第3の波 メカトロニクス	第4の波 オプト・メカトロニクス
Manual welding  The image shows the Mona Lisa painting, but she is holding a welding torch instead of a brush. In the top left corner, there is text that reads "The world's most copied painting".	Mechnized SAW  A photograph showing a large, circular metal pipe being cut by a mechanized saw (SAW) in an industrial setting.	Robotic Welding  A photograph of a yellow industrial robotic arm, likely used for welding, mounted on a base.	Laser welding   The top image shows a laser welding process in progress, with a bright light source and a metal part being welded. The bottom image shows a piece of laser welding equipment, including a laser head and a base.

ご静聴ありがとうございました

Thank you for your kind attention.



2006年に就航する555人乗り旅客機A380