

# レーザーフォーミングを用いた意匠面の作成技術の開発

九州工業大学 マテリアル工学科  
教授 秋山 哲也  
(平成 29 年度 一般研究開発助成 AF-2017205)

キーワード：レーザーフォーミング，意匠面，角変形，加熱順序

## 1. 研究の目的と背景

レーザーフォーミング技術が実際に曲面成形に実用されている例は少ない。これは、加工法案を決定し製品を加工し終えるまでの時間が、プレス加工などに比べ格段に長く、大量生産に向いていないことが大きな原因の 1 つと言える。一方で、代表的な曲面成形技術であるプレス加工は、その金型が非常に高価で、少数多品種の生産には不向きである。

ここで、例えば輸出用個人向け工業製品の外観を、個々の消費者特有のデザインで作成するオプションをつけることで新たな付加価値を生み出すことが出来れば、収益の拡大につなげることができると考えられる。この時、プレス加工の金型を個々の顧客ごとに作り替えたのでは、製品コストが上がりすぎて現実的ではない。もしもレーザーフォーミングを用いて多様な意匠面を作り出すことができるならば、先ずプレス加工で単純な外観の基本モデルを大量生産し、次に意匠面をレーザーフォーミングし、付加価値の高い製品を輸出することができるようになる。また、このようなレーザーフォーミングの新しい利用分野を開拓することは、レーザー技術の発展にも寄与すると考えられる。

著者は、曲面成形に於ける幾何学的取り扱いで特許(平板加工情報の取得方法および平板加工方法 特許第 4 8 9 9 0 3 9 号)を取得しており、この方法をもとに幾何学的な加工法案を立案<sup>1),2)</sup>することが可能である。幾何学をもとに具体的な加熱法案を導くには、幅広い熱加工の知識と経験が必要となる。この段階で、造船業のぎょう鉄では熟練工の勘と経験が必要となる。

著者はこの勘と経験の部分を、加熱冷却に伴う固有ひずみの発生<sup>3),4)</sup>、加熱履歴に伴う塑性ひずみの蓄積と相互作用、曲面と面内ひずみの組み合わせによる新たな角変形(折れ)の発生<sup>5)</sup>、縦収縮の蓄積を利用した楕形・鞍形の作り分け、縦収縮の蓄積を利用したねじり曲面成形の高精度化<sup>6)</sup>、部分加熱による新たな面内ひずみの利用など、工学の観点から曲面成形のノウハウを明らかにし、工学系技術者であれば勘や経験がなくても現象が理解できるように、加熱法案を個別の要素技術として書き下してきた。このような利用可能な技術は蓄積された状況にある。

本研究の目的は、基本的な曲面を有する製品にレーザーフォーミングを付加的に行うことで、製品の外観に意匠性を持たせるために必要なレーザーフォーミング技術を明らかにし、具体的にその技術を確立することにある。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材料

実験には、加熱冷却後に硬化など材質変化の少ないオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 (板厚 0.75mm) を用いた。所定の寸法に切り出した後、残留応力除去のための 900°C 1 時間の焼鈍の後、試験片とした。

### 2.2 加熱条件

加熱には、出口出力 1500W のレーザー加熱装置を用い、XY テーブル上の供試材を所定の加熱速度で加熱した。焦点外し距離はファイバーレーザーの場合 41mm でこの時のレーザー光ビーム半径は 2.4mm である。YAG レーザの場合には焦点外し距離を 24mm としレーザー光ビームガウス半径をファイバーレーザー光ビーム半径と同じ 2.4mm とした。

## 3. 並行する山折れと谷折れ曲線加熱

### 3.1 試験片形状

板長 200mm、板幅 200mm の平板にレーザー移動速度 6000mm/min. にて、図 1 に示す円弧状の加熱を行った。図中①、②は加熱順序を示し、実線は表面加熱、破線は裏面加熱の位置を示す。Model 1 は内側加熱を先に、Model 2 は外側加熱を先に行う加熱である。この形状は、図 2 に示す車両ボンネット部によくみられる形状を模擬している。加熱には YAG レーザを用いた。

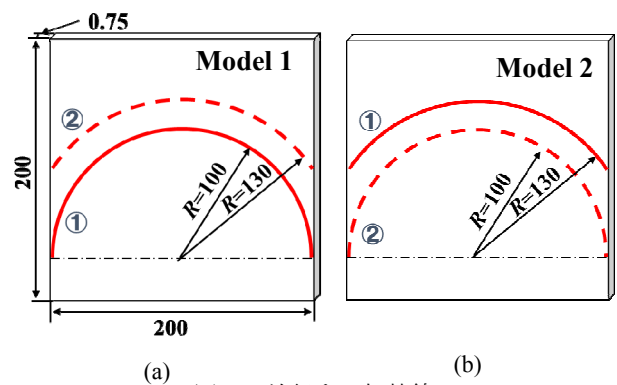


図 1 並行する加熱線

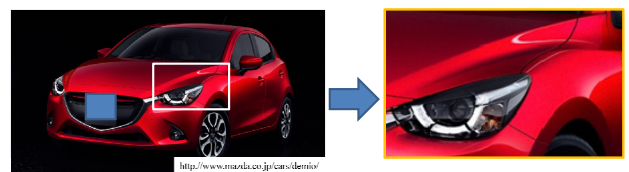


図 2 並行する山折れ谷折れの一例

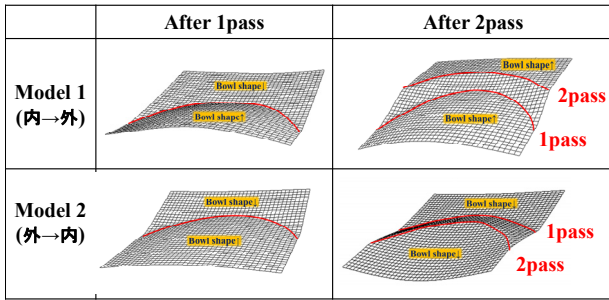
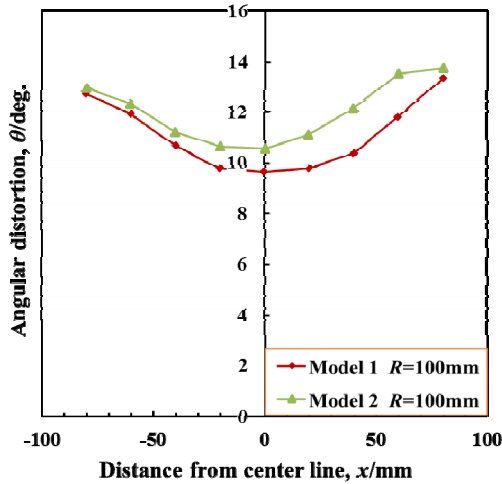
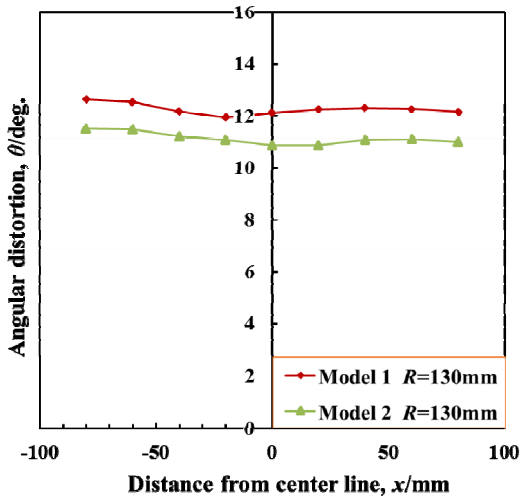


図3 並行加熱終了後の外形



(a) R=100mm



(b) R=130mm

図4 角変形に及ぼす先行 PASS の影響

### 3・2 角変形の加熱順序依存性

加熱後の表面形状の測定結果を図3に示す。2回の加熱終了後には、並行する山折れと谷折れが形成されていることが分かる。定量的に詳細な検討を行うために、板幅方向の位置での角変形の分布の測定結果を図4に示す。(a)は内側加熱 (R=100mm), (b)は外側加熱 (R=130mm) の場合であるが、どちらも大きい値を示しているのは後から

加熱した場合であることが分かる。すなわち、1 Pass 目加熱で板に残留応力が発生している状態でレーザー加熱されると、残留応力の無い平板が加工されるよりも大きな変形が発生することが分かる。図5は、先に置いた加熱線の角変形が後から置いた加熱線によって変化する様子を調べた結果である。外側加熱の△と▲はほとんど同じ分布をしており、後から内側加熱を行っても変形量がほとんど変わらないことが分かる。ところが内側加熱の○と●では、外側加熱を置くことによって●から○のように両端部の角

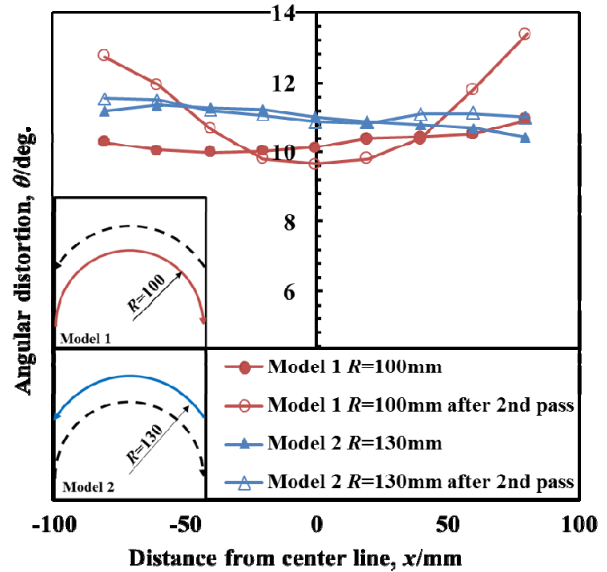
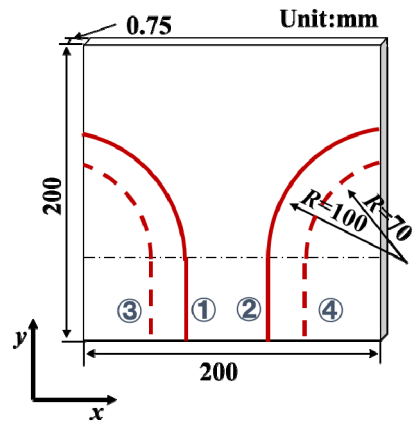
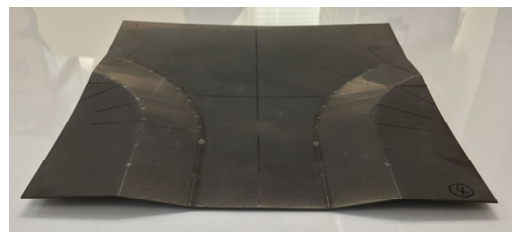


図5 角変形に及ぼす後続 Pass の影響



意匠面成形実験における加熱位置



加熱後の試験片写真

図6 意匠面作成例

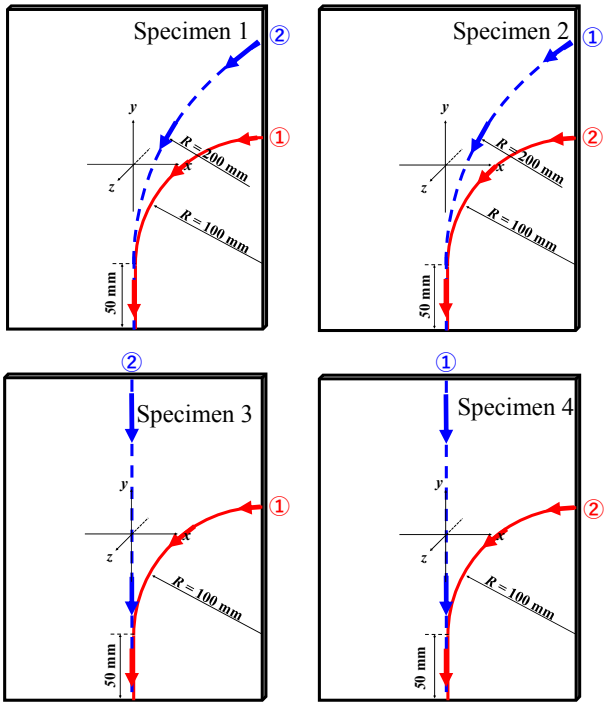


図7 枝分かかれ加熱試験片



図8 枝分かかれ形状の1例

変形が大きく増加していることが分かる。これは、外側加熱を行うことで加熱線の内側は楕円変形が助長され圧縮残留応力が生じ面外変形が生じ易くなる為と考えられる。一方内側加熱の外側は引張残留応力が発生するため、新たな面外変形は生じにくい。

図6に、外側加熱を先に行って作成した車ボンネット部を模擬した形状が予定通りの形状で作成出来た1例を示す。

#### 4. 枝分かれする山折れと谷折れ曲線加熱

##### 4・1 試験片形状

板長 250mm, 板幅 200mm の平板にレーザー移動速度

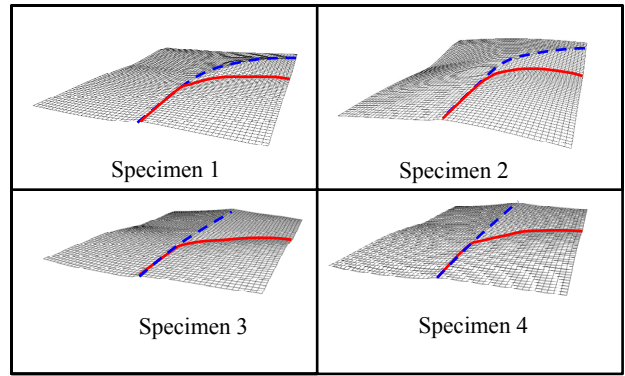
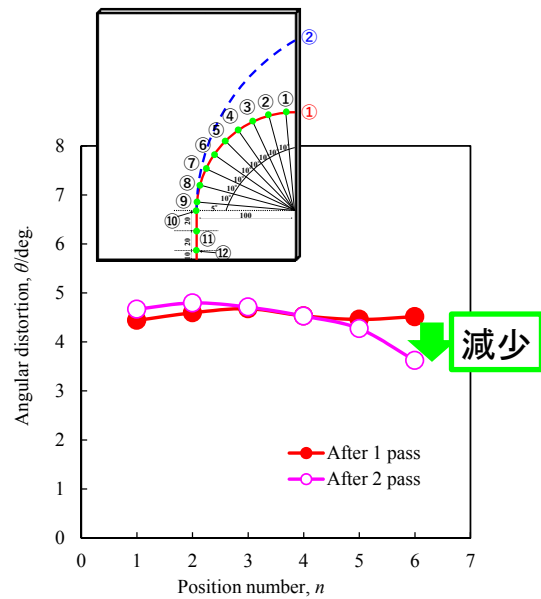
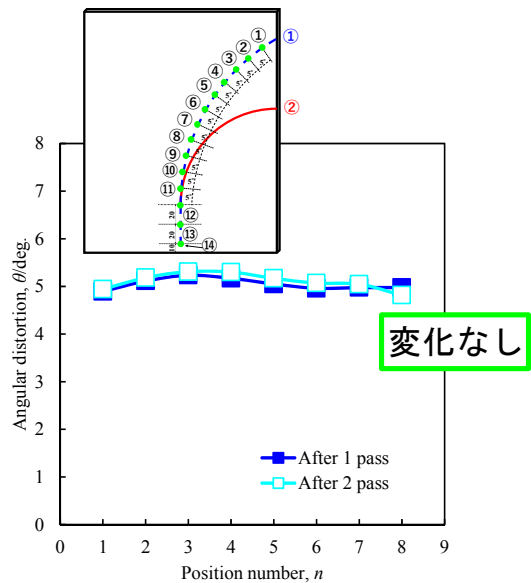


図9 加熱終了後の変形形状



(a)  $R = 100 \text{ mm}$



(b)  $R = 200 \text{ mm}$

図10 角変形に及ぼす後続 Pass の影響

6000mm/min.にて、図7に示す枝分かれた円弧状の加熱を行った。図中①、②は加熱順序を示し、実線は表面加熱、破線は裏面加熱の位置を示す。Specimen 1は内側加熱を先に、Specimen 2は外側加熱を先に行う加熱である。Specimen 3は内側加熱を先に、Specimen 4は外側直線加熱を先に行う加熱である。この形状は、図8に示す車両に

よくみられる形状を模擬している。加熱にはファイバーレーザーを用いた。

#### 4・2 角変形の加熱順序依存性

加熱後の表面形状の測定結果を図9に示す。枝分かれた形状で谷折れと山折れが形成されていることが分かる。定量的に詳細な検討を行うために、加熱線上の各位置における角変形の測定結果を以下に述べる。

図10に、先に行った加熱線により生じた角変形に及ぼす、続けて行った後からの加熱による影響を示している。(a)は内側の加熱線、(b)は外側の加熱線について示している。(a)の内側の加熱線の場合、外側加熱を追加したことで角変形が僅かに変化している。一方(b)の外側加熱では、内側の加熱線を追加しても変形量はほとんど変化していない。

図11に、内側加熱(a)並びに外側加熱(b)での角変形量に及ぼす先行する加熱の影響を調べた結果を示す。(a)も(b)も共に、先行する加熱が行われている方が角変形量が大きくなっていることが分かる。

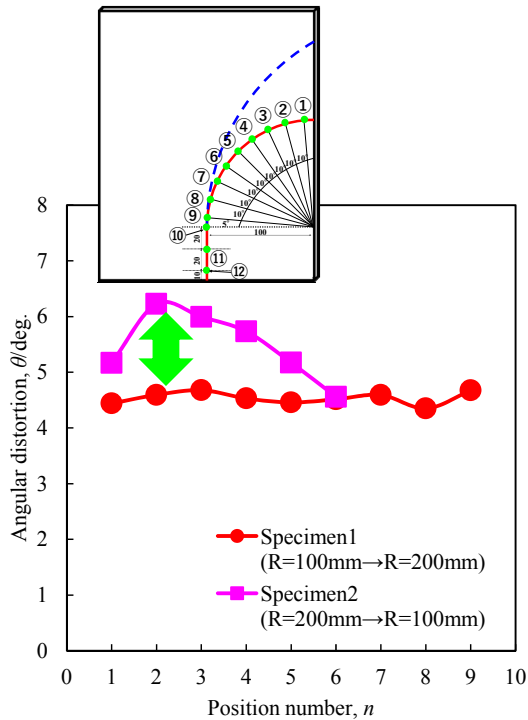
図12、13に、外側加熱線の形状が直線の場合について角変形に及ぼす、続けて行った後からの加熱による影響を示している。図10に示した外側加熱が曲線の場合に比べ、(a)の内側加熱の場合でもほとんど変化していないことが分かる。

図13は、内側加熱(a)並びに外側加熱(b)での角変形量に及ぼす先行する加熱の影響を調べた結果である。外側加熱が曲線であった図11と比較すると、変化が小さく、(b)の直線加熱部の角変形はほとんど変化していないことが分かる。

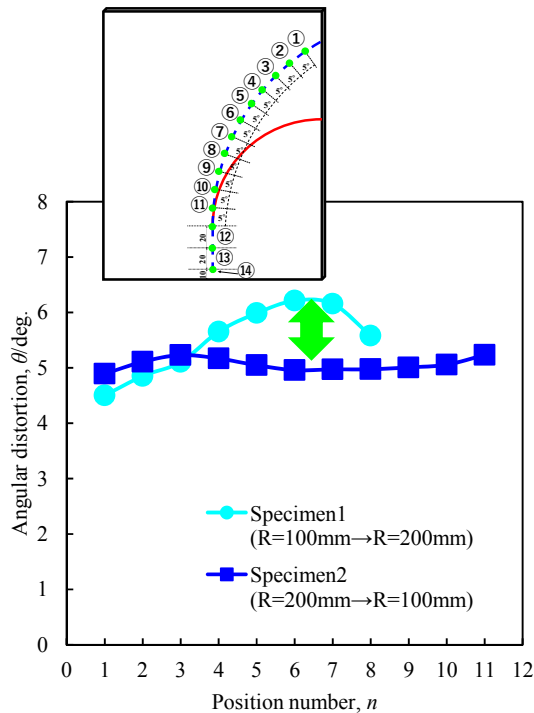
#### 5. まとめ

レーザーフォーミングを用いて意匠面を作成するという観点から、主として曲線加熱を用いて作成した角変形に及ぼす加熱順序の影響を調べた。これは、目的とする意匠面を作成するに当たり、後続する加熱によって先行する角変形が大きく変化しない加熱順序を検討するうえで重要な知見であり、実用上大切な課題である。

3章では並行する曲線加熱を対象に、外側の加熱線から加熱を始めると、先に成形した角変形が後続する加熱によって変化することなく成形を進めることが出来ることが分かった。4章では枝分かれる加熱線を対象に、3章で示した結論即ち外側の加熱線から加熱を始めると、先に成形した角変形が後続する加熱によって変化することなく成形を進めることが出来ることの他に、先行する加熱線が既にある場合には無い場合に比べ角変形が大きく表れること、先行する加熱線が直線である場合には無い場合とほとんど同じ角変形量しか生じないこと、加熱線同士の干渉が小さいことを示した。

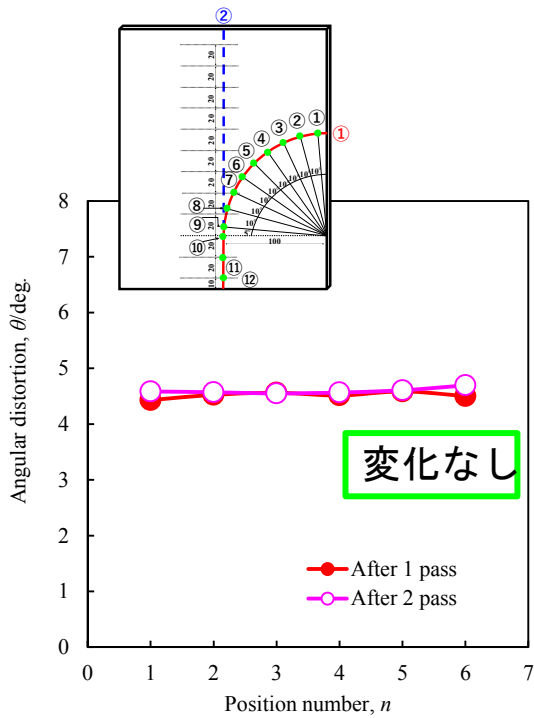


(a) R = 100 mm

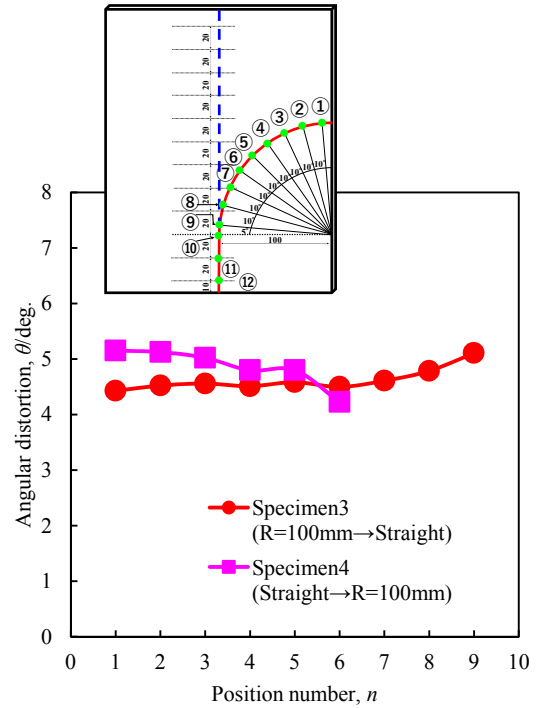


(b) R = 200 mm

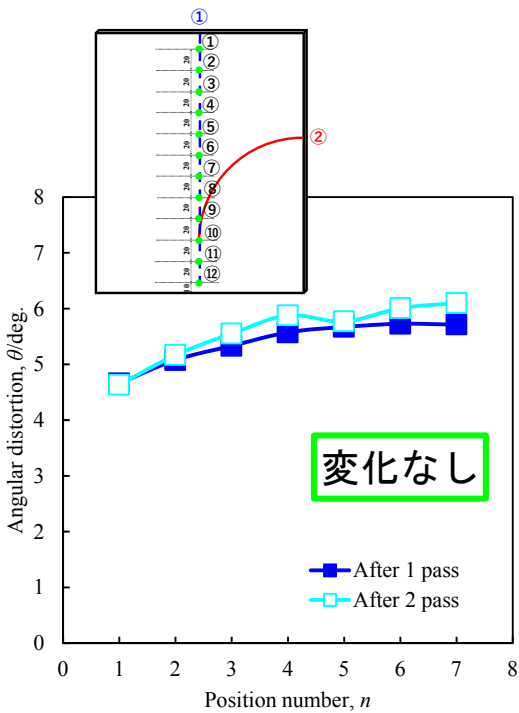
図11 角変形に及ぼす先行 Pass の影響



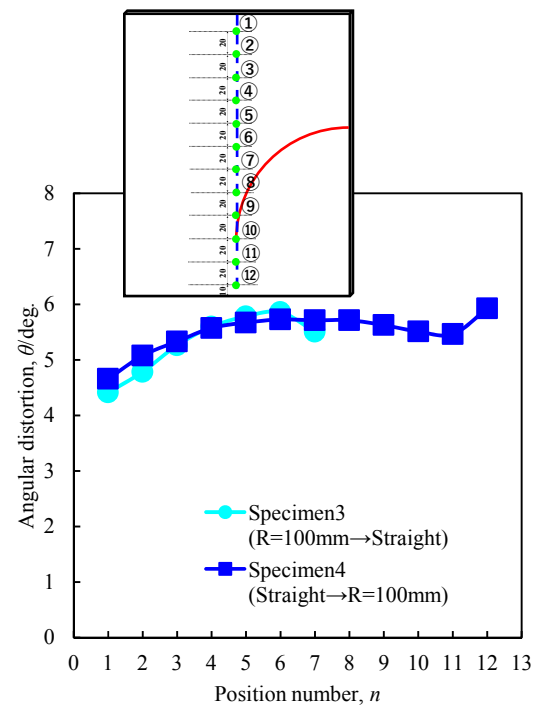
(a)  $R = 100$  mm



(a)  $R = 100$  mm



(b) Straight



(b) Straight

図 1 2 外側加熱が直線の場合の後続 Pass の影響

図 1 3 外側加熱が直線の場合の先行 Pass の影響

### 謝 辞

本研究は、公益財団法人天田財団による一般研究開発助成 (AF-2017205) の助成を受けて実施したものです。

ここに記して、厚く感謝いたします。また、本研究の実験の一部を遂行した、北村貴典准教授をはじめ研究室学生

諸氏に感謝いたします。また、ファイバーレーザの実験に際し装置の利用の他快くご協力いただいた株式会社黒木工業所研究所長服部氏、澤井氏、小佐井氏に心から感謝致します。

### 参考文献

- 1) 測地線一面内ひずみ法による鞍形レーザーフォーミングに及ぼす加熱方向の影響; 秋山哲也 他, 溶接学会論文集第 29 巻第 3 号 p210-217 (2011).
- 2) 測地線面内ひずみ法に基づく椀形・鞍形レーザーフォーミングにおける加熱方向について; 秋山哲也 他, 溶接構造シンポジウム 2011 講演論文集 p73-76 (2011).
- 3) レーザ加熱を用いた薄板鞍形成形時の収縮量に及ぼす初期曲率半径の影響; 秋山哲也 他, 溶接学会論文集第 27 巻第 1 号 p61-66 (2009).
- 4) 椀形レーザーフォーミングの収縮量に及ぼす板長と初期曲率半径の影響; 秋山哲也 他, 溶接学会論文集第 28 巻第 1 号 p22-27 (2010).
- 5) レーザフォーミングにおける角変形ならびに横収縮に及ぼす初期曲率半径と加熱面の違いの影響; 秋山哲也 他, 溶接構造シンポジウム 2014 講演論文集 p37-40 (2014)
- 6) 表裏面で直交する加熱線のレーザーフォーミングによるねじれ曲面成形における加熱順序の影響; 秋山哲也 他, 日本金属学会誌 第 79 巻 第 12 号 p639-643 (2015)