

厚板材の深絞り加工における形状精度

岐阜工業高等専門学校 機械工学科

助教授 加藤浩三

(平成5年度研究開発助成 AF-93022)

1. 研究の背景

近年、厚板材の深絞り加工は、構造用部材の成形加工として注目され、また実用化されている。例えば、内田ら^{(1),(2)}は、深絞りにより成形した容器に鍛造加工を施し平衡車を成形する実験的な研究を行っている。また、同じ内田ら⁽³⁾の研究グループは、厚板材を深絞り成形した容器からピストンを製作するための実験的な検討を試みている。また、一部の冷蔵庫用圧縮機のピストンはすでに、絞り・しごき加工により成形されている⁽⁴⁾。あるいは、ホイールなど自動車用の軸対称強度部品もしごき・絞り加工を経て成形されている。したがって厚板材の深絞り加工において基本的な加工条件が成形精度に及ぼす影響を定量的に把握することが重要である。

しかし、加工条件が成形精度に及ぼす影響について定量的に評価された例は少なく、例えば金武らによる実験的な検討結果^{(5)~(7)}があるのみである。著者らは、フランジ部のしわ発生は問題にはならず、パンチ肩部材料の破断(以下「 α 破断」)のみが成形限界を規定する程度の厚板材に注目し、工具形状、あるいはしごき率の加工条件が成形限界に及ぼす影響を検討してきたが^{(8),(9)}、形状精度についての評価は実施していない。

本研究では以上の観点から、厚板材の深絞り加工において加工条件が形状精度に及ぼす影響を実験的に評価した。特に、しごき条件およびパンチ形状の加工条件が、板厚ひずみ分布および壁部の垂直性に及ぼす影響を定量的に求めた。

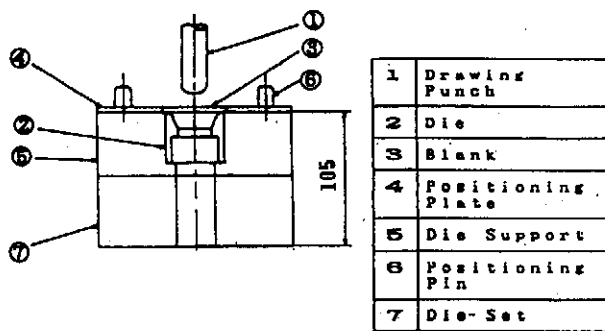


図1 実験装置概要図

2. 研究方法

2.1 概要

実験装置の概要を図1に示す。本装置は、能力250kNの油圧プレスに設置されている。厚手板材を対象とした軸対称成形を扱うため、しわ抑えはなく、また、ダイはテーパダイ(コニカルダイ)である。実験条件を表1に示す。しごきの有無が成形精度に及ぼす影響を把握するため、パンチ直径の水準を2条件設け、しごきのない条件と、もう一方はしごき率10%とした。また、パンチ肩半径の影響を把握するため、5.0と9.0の2条件を設けた。ダイの内径は $\phi 25$ であり、半角を 15° とした。供試材としては工業用純アルミA1050-Oで公称板厚2.0mmのもとを用いた。潤滑剤としては市販の鉱油系の塑性加工油を用い、供試材の表裏面に塗布した。

2.2 板厚精度の評価方法

まず、加工後のテストピースを樹脂に埋込み2分割した後、万能投影機により10倍に拡大しトレースした。次に、「加工前に板厚中心に対して垂直であった面は、加工後の板厚中心に対しても垂直である」という仮定に基づき、トレース図から板厚ひずみの分布を求めた。図2はプロフィールのトレース図の一例でしごきの無い条件の結果である。①、②、および③で示すように、容器底部から壁部に向かって測定点の番号付けをしている。また、点線で示すように、加工後の板厚中心を起点としてプロフィールに沿って、板厚ひ

表1 実験条件

Punch	Profile Radius : $r_p = 5.0, 9.0$ Diameter : $D_p = \phi 19.0, 21.4$
Die	Inner Diameter : $\phi 25.0$ semi-angle $\alpha : 15^\circ$
Blank	Commercial pure aluminum A1050-o Annealed 420°C 1hr Thickness $t : 2.0\text{mm}$ $F : 143 \text{ MPa}, n : 0.267$
Lubricant	Kyodo Yushi Co, Ltd. Plastic Working Oil PB-120 92 cSt (40°C)

ずみを示しており、軸対称変形の対称軸側がプラス、外側がマイナスである。

また、図2では、一点鎖線により軸対称の軸からパンチ肩部のしびれ部、すなわち最小板厚部までの半径も示している。これは後に、3.2節においてパンチ肩半径の影響を議論する際に用いる。

3. 研究結果と考察

3.1 しごきの影響

図3は、しごきの無い条件における板厚ひずみの分布であり、パンチ肩半径 $r_p = 5.0$ の場合の結果である。縦軸は板厚ひずみを表わし、横軸は測定点を示している。ブランク直径をパラメータとしており、図2に示したものと同様の板厚ひずみ分布を各ブランク条件ごとに整理した結果をまとめたものである。本結果は、しごきの無い条件であり、ブランク厚み2.0mmに対してクリアランスが3.0mmと大きい。

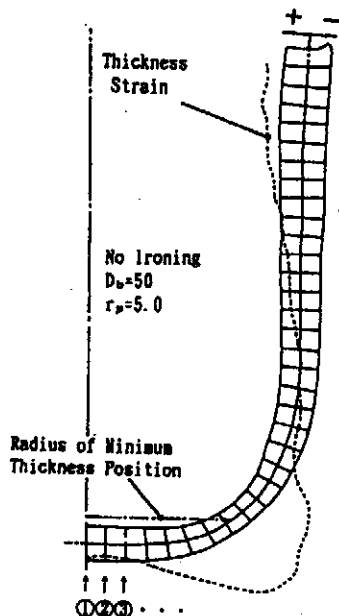


図2 テストピース断面プロファイル例

そのため、壁部の厚みはフランジ部における縮み変形により、加工前のブランク厚みより厚くなっている。しかも壁部の上部ほど（図では右側ほど）厚くなっており、板厚ひずみは著しくプラス側になっている。

図4は、図3と同様で、しごきの無い条件の結果であるが、パンチ肩半径条件のみが異なり、 $r_p = 9.0$ の場合のものである。定性的傾向は、図3の $r_p = 5.0$ の場合と同様であり、壁部の厚みが上端部ほど厚くなっている。なお、測定点2から5付近で図4の $r_p = 9.0$ の場合の方が圧縮ひずみが大きい、この理由は単に、 $r_p = 9.0$ のパンチでは、パンチ肩部のプロファイル長さが長いためである。

一方図5は、しごき率10%の結果である。クリアランスは1.8mmであるため、計算上の壁部板厚ひずみは、 -0.105 である。壁部における板厚ひずみは、横軸に対して平行であり、また値は -0.105 付近に集中しており、しごきの無い場合に比べて著しく板厚偏差が少ない。

また、図6は成形容器の壁部における板厚ひずみ偏差を評価するための図であり、パンチ肩半径 $r_p = 5.0$ の結果である。○印はしごきの無い条件を、△印は、10%のしごきを伴う条件をそれぞれ表し両者を比較している。ブランク直

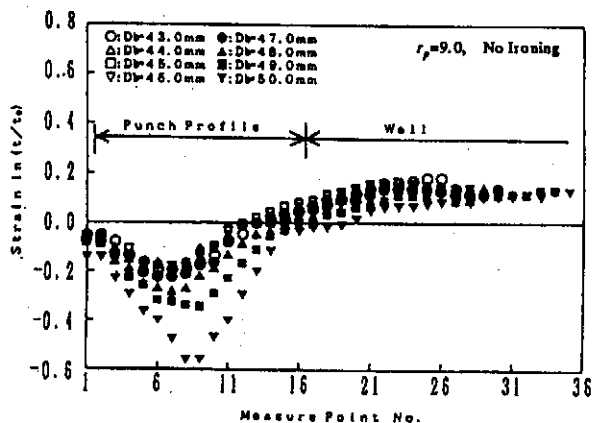


図4 板厚ひずみ分布 (しごき無し, $r_p = 9.0$)

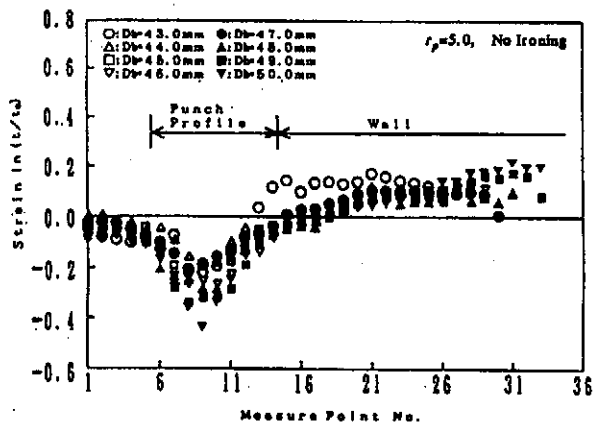


図3 板厚ひずみ分布 (しごき無し, $r_p = 5.0$)

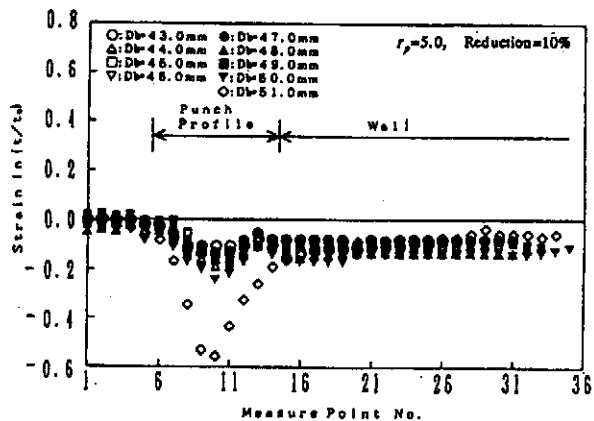


図5 板厚ひずみ分布 (しごき率10%, $r_p = 5.0$)

径ごとに、壁部のひずみの最大値と最小値とをそれぞれ、黒塗りと白抜きでプロットし、これらの差により偏差を表している。したがって、●-○はしごきの無い場合の板厚ひずみ偏差を表わし、▲-△はしごきのある場合の板厚ひずみ偏差を表している。しごきの無い条件では、ブランク直径条件に関わらず、板厚ひずみ偏差は大きく、約0.2である。一方、しごき率10%の条件では、約0.02であり、しごきの無い条件の1割程度であり、極めて少ない。

一方図7は、図6と同様、壁部の板厚ひずみ偏差を評価するためのものであるが、パンチ肩半径条件は異なり、 $r_p = 9.0$ の結果である。しごきの無い場合の偏差は0.1程度であるが、しごき率10%の条件は、約0.02と少ない。定量的な差異はあるが、しごきを伴う場合の方が著しく偏差が少ない点は、パンチ肩半径 $r_p = 5.0$ の条件と同じである。

図8は、パンチ肩半径条件 $r_p = 5.0$ について、パンチ肩部における板厚ひずみ偏差を示したものである。記号の意味

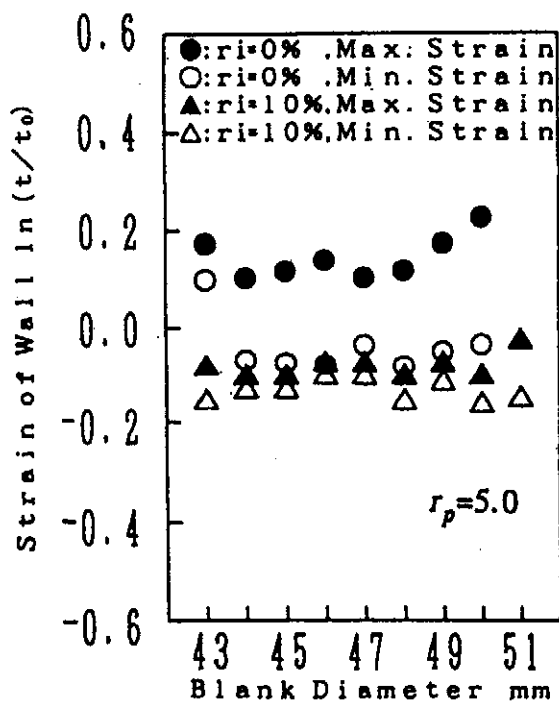


図6 容器壁部の板厚ひずみ偏差 ($r_p = 5.0$)

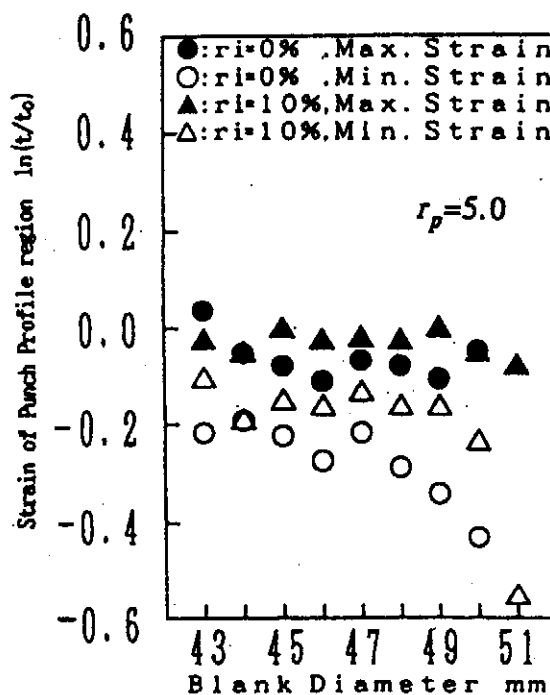


図8 パンチ肩部の板厚ひずみ偏差 ($r_p = 5.0$)

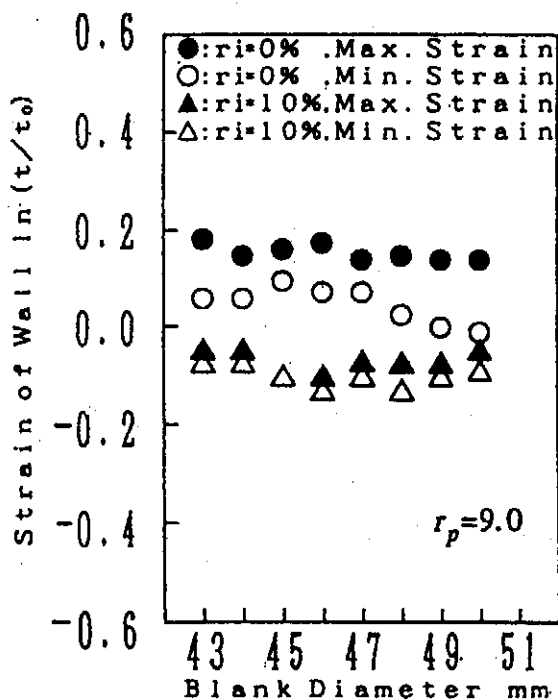


図7 容器壁部の板厚ひずみ偏差 ($r_p = 9.0$)

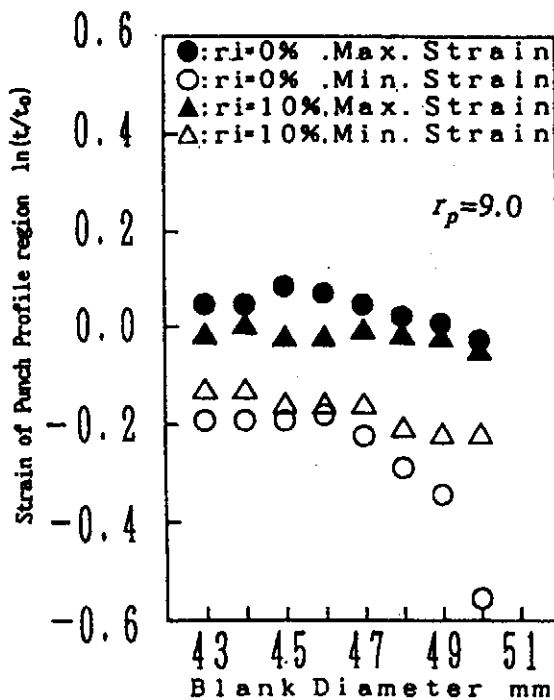


図9 パンチ肩部の板厚ひずみ偏差 ($r_p = 9.0$)

は図6と同じである。ブランク直径条件に関わらず、しごき率10%の場合の板厚ひずみ偏差が小さく、0.1程度である。このことは、しごきのある条件では、パンチ肩部のくびれが緩和され、 α 破断が抑制されやすいことを意味する。ブランク直径 $\phi 51$ の条件についてみると、しごきの無い条件では α 破断したが、しごき率10%の条件では加工を完了することができた。

一方、図9はパンチ肩半径条件 $r_p = 9.0$ におけるパンチ肩部の板厚ひずみ偏差を示したものである。しごきを伴う条件では、偏差は0.10から0.15程度である。またしごきの無い条件では0.2以上あり、しごきを伴う条件より大きい。次に、図10は、しごきの無い条件における、容器壁部の垂直性を評価したものである。図2のように得られた断面プロフィールから、軸対称の軸に対する容器壁部の傾きを万能投影機により求めた。ブランク直径条件によりばらつきがあり 0.5° から 3.5° の範囲に分布している。一方、しごき率10%の条件では、容器壁部は軸に対して平行であり、万能投影機による計測では、 0° であり、図に示してはいない。しごきを伴う加工条件では、成形プロセスにおいてクリアランス部の拘束が著しいため壁部の垂直性が著しいものとする。

3.2 パンチ肩半径の影響

図11は、図5と同様で、しごき率10%の場合の結果であるが、パンチ肩半径条件は異なり、図5の $r_p = 5.0\text{mm}$ に対して、 $r_p = 9.0\text{mm}$ である。ここでは、図5と図11と比較することにより、パンチ肩半径条件が板厚ひずみ分布に及ぼす影響を考察する。

板厚ひずみのレベルは両者で差異がなく、いずれも、 $-0.2 \sim 0$ の範囲にある。しかし、測定点13から15のパンチ肩部から容器壁部に至る境界部の分布形状は異なっている。すなわち、図5の $r_p = 5.0\text{mm}$ の条件ではこの領域の板厚ひずみレベルの偏差は小さいが、図11の $r_p = 9.0\text{mm}$ の条件では、測定点15付近で板厚ひずみの山があり、0に近い値となっている。この差異の理由は、以下のように考えられる。すなわち、パンチ肩半径の大きい $r_p = 9.0\text{mm}$ の条件では、パン

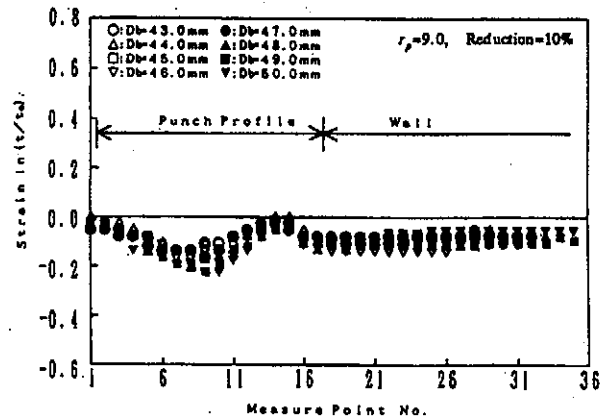


図11 板厚ひずみ分布 (しごき率10%, $r_p = 9.0$)

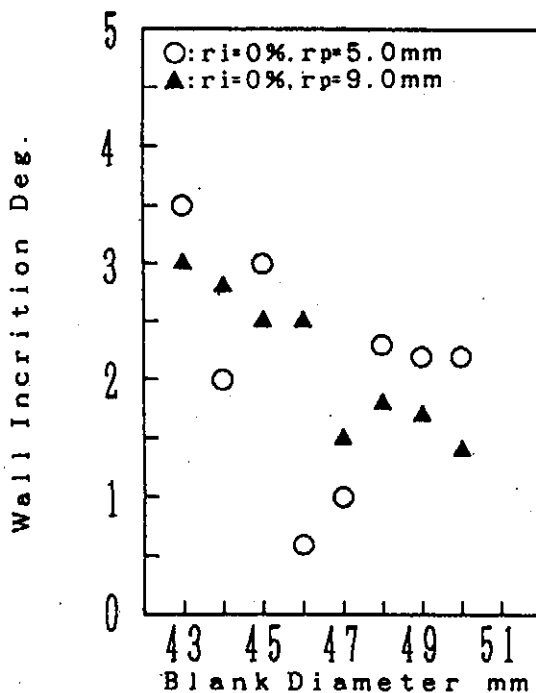


図10 容器壁部の垂直性 (しごき無し, $r_p = 5.0$ および 9.0)

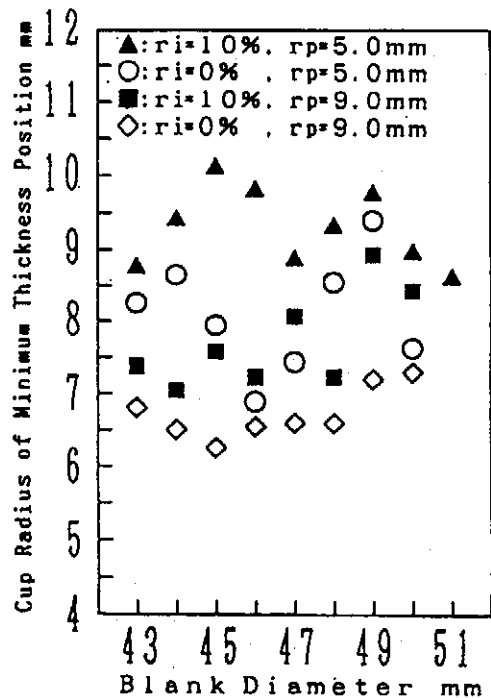


図12 最小板厚部の半径方向位置

子肩部の曲げに基づく、くびれの部位は、測定点の番号では若い番号寄り、すなわち、半径方向の中心寄りにある。そのため、パンチ肩部の曲げに基づくくびれの部位と、容器壁下端部のしごきに基づく圧縮ひずみ部位との間隔が大きい。したがって、これら2つの圧縮ひずみ部位の中間部では、板厚ひずみが相対的に大きく、板厚ひずみ分布は山形状になる。一方パンチ肩半径の小さい $r_p = 5.0\text{mm}$ の条件では、パンチ肩部の曲げに基づく、くびれの部位が半径方向の外寄りにあり、容器壁下端部のしごきによる圧縮部位とは接近しているので、2つの圧縮ひずみ部位の中間部にピークが無く、板厚ひずみ分布は均一になっている。以上のことから、パンチ肩半径の小さい条件では、容器底部から容器壁部に至る領域においても板厚ひずみ分布の偏差を小さくし得ることが確認でき、また、その理由についても、解釈することができた。

図12は、上記のパンチ肩半径条件がくびれの位置に及ぼす影響についての考察を裏付けるためのものである。図2に一例として示したテストピース断面プロフィールから得られた「最小板厚部の半径方向距離」を縦軸に取っている。しごき率10%でパンチ肩半径条件 $r_p = 5.0\text{mm}$ を示す▲と $r_p = 9.0\text{mm}$ を示す■とを比較すると、▲のプロットが図中の上部にあり、パンチ肩半径の小さい条件のほうがくびれの位置が半径方向に外寄りにある。

4. 結 び

厚板材の深絞り加工について、加工条件が板厚精度、および形状精度に及ぼす影響を実験的に検討し、以下の点が明らかになった。

- (1) しごきの有無は、板厚ひずみ分布に著しい影響を及ぼし、しごきを伴う条件では、しごきの無い条件に比べ、板厚偏差は少なく、パンチ肩半径 $r_p = 5.0\text{mm}$ の条件では、容器壁部の板厚ひずみ偏差を1割以下に抑えることができる。
- (2) しごきの無い条件では、容器壁部の傾きは 0.5° から 3.5° の範囲であるが、しごきを伴う条件では垂直性が著しく、万能投影機の測定では 0° である。
- (3) パンチ肩半径が小さい 5.0mm の条件では、パンチ肩部における板厚ひずみの偏差を比較的小さく抑えることができる。この理由は、くびれの位置が半径方向の外寄りであるため、壁部のしごきによる圧縮部位と接近しているからである。

文 献

- (1) 内田・長井・新田、43回塑加連講論、(1992)、171.
- (2) 長井・内田・庄司・椎名、45回塑加連講論、(1994)、323.
- (3) 内田・伊藤・山崎、平成6年度塑加春講論、(1994)、221.
- (4) 日本塑性加工学会編、チューブフォーミング、(1992)、231.コロナ社
- (5) 金武・稲垣、塑性と加工、35 - 405 (1994)、1189.
- (6) 金武・朝倉、塑性と加工、35 - 407 (1994)、1414.
- (7) 金武・朝倉、塑性と加工、35 - 407 (1994)、1420.
- (8) 加藤、41回塑加連講論、(1990)、289.
- (9) 加藤・近藤、42回塑加連講論、(1991)、779.