

# パルスファイバレーザによるマグネシウム合金のレーザ切断加工 に関する基礎的検討

北田 良二\*

## Fundamental Study on Laser Cutting of Magnesium Alloy Using Q-Switched Fiber Laser

by  
Ryoji KITADA\*

### 要 旨

近年、電子機器の軽量化や自動車・航空機の軽量化と燃費向上のためにマグネシウム合金の需要が高まっている。しかしながら、マグネシウム合金は加熱すると容易に燃焼してしまうため、取り扱いには注意が必要となる。例えば、マグネシウム合金をレーザ加工した場合、適切な加工条件でなければレーザ加工熱によって容易に燃焼してしまう。しかしながら、レーザ加工は、機械加工の課題である切りくずの後処理が不要であり、無負荷加工であることから、柔らかいマグネシウム合金であっても薄板や長尺品の加工が可能となる。したがって、レーザ加工をマグネシウム合金の加工に適用することは、材料の適用範囲を拡大する上で重要な取り組みとなる。

本研究では、金属材料の精密加工に適している Q スイッチパルスファイバレーザを用いて、マグネシウム合金の切断加工特性を評価した。試験片には、汎用マグネシウム合金である MS-AZ31B、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 を使用した。切断溝性状やドロス高さなどの加工性を比較した結果、材料の熱的物性値の違いにより、切断加工特性がそれぞれ異なることが明らかとなった。

**Key Words** : Fiber laser, Laser cutting, Magnesium alloy, Dross, Debris

### 1. はじめに

近年、軽量化を目的として、実用金属の中で最も軽い材料であるマグネシウム合金を、自動車や航空機などの輸送機類、ノートパソコンや携帯電話などの電子機器類へ適用する動きが広がっている。そのため、マグネシウム合金の市場規模は年々拡大しており、持続的社會に対し

て大きく貢献している<sup>1)</sup>。マグネシウム合金には、軽量、高い比強度・非剛性、優れた放熱性などの優れた素材特性がある一方で、耐食性が低い、引火や発火しやすいといった欠点もある。したがって、マグネシウム合金を加工する場合には、様々な注意が必要となる。例えば、切削加工などの機械加工を行う場合、切りくずが発火する恐れがあるため、その処理を適切に行う必要がある。また、マグネシウム合金をレーザ加工した場合は、適切な加工条件でなければレーザ加工熱によって容易に燃焼してしまう<sup>2)-4)</sup>。

\*崇城大学工学部機械工学科教授

しかしながら、レーザ加工は切削加工と異なり切りくずの排出がないため、機械加工の課題であるマグネシウム合金の切りくずの後処理を検討する必要がない。また、レーザ加工は、無負荷加工であるため、柔らかいマグネシウム合金であっても薄板や長尺品の加工が可能となる。このような利点を活かしてマグネシウム合金に関するレーザ加工の研究開発は進められているが、研究事例は限定的である。さらに、マグネシウム合金の欠点である燃焼性を解決するために難燃性・耐熱性マグネシウム合金の開発が進められているが、レーザ加工においては適用事例が少ない<sup>5)</sup>。

以上の背景より、金属材料の精密加工に適しているQスイッチパルスファイバレーザを用いて、各種マグネシウム合金の切断加工特性を評価して、レーザ加工の可能性を検討した。

## 2. レーザ切断加工法

### 2.1 マグネシウム合金

本研究では、種々のマグネシウム合金から、熱的物性値の異なる材料として、3種類を選定してレーザ切断加工実験に使用した。表1に試験片として採用した各種マグネシウム合金の諸特性を示す。汎用的なマグネシウム合金を代表してMS-AZ31Bを試験片として使用した<sup>6)-8)</sup>。また、熱的物性値の異なるマグネシウム合金として、近年、実用展開が進んでいる難燃性マグネシウム合金MS-AXM620、新しいマグネシウム合金として注目されているKUMADAI耐熱

表1 各種マグネシウム合金の諸特性

マグネシウム合金	化学組成 [%]	比重	発火温度 [°C]
汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B	Al: 3, Zn: 0.88, Mn: 0.58, Fe: 0.0018, Si: 0.0015, Mg: Bal.	1.78	470-550
難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620	Al: 5.6 - 6.4, Zn: <=0.2, Mn: 0.26 - 0.5, Cu: <=0.008, Si: <=0.08, Ni: <=0.00, Be: 0.0005 - 0.0015, Ca: <2, Mg: Bal.	1.8	620-810
KUMADAI耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75	Zn: 4.5 - 5.5, Fe: <=0.005, Si: <=0.10, Cu: <=0.05, Ni: <=0.005, Y: 6.2 - 7.4, Mg: Bal.	1.89	780-940

マグネシウム合金MS-WZ75をそれぞれ試験片として使用した<sup>5), 9)</sup>。これら3種類のマグネシウム合金について、レーザ切断加工実験を実施して、切断溝性状やドロス高さなどのレーザ切断加工特性を評価することで、Qスイッチパルスファイバレーザによるレーザ切断の可能性とマグネシウム合金の熱的物性値が切断加工特性に及ぼす影響について検討した<sup>10), 11)</sup>。

切断加工実験に使用した各種マグネシウム合金の試験片サイズは、長さ50 mm、幅10 mm、厚み $0.5 \pm 0.02$  mmに統一することで、試験片サイズがレーザ切断加工に影響しないようにした。試験片の外観写真を図1に示す。各マグネシウム合金ともに表面はフライス加工面とした。また、試験片をアセトン洗浄した後に、レーザ光吸収剤（ファインケミカルジャパン、ブラックガードスプレーFC-153）を浸漬法により均一に塗布（両面膜厚約10  $\mu$ m）することでレーザ切断加工時のレーザ光反射を抑制して、レーザ光を安定して吸収させた。そして、レーザ切断加工した試験片は、塗布したレーザ光吸収剤をエタノール洗浄で除去した後に、切断溝の加工性状を評価した。

### 2.2 Qスイッチパルスファイバレーザ

Qスイッチパルスファイバレーザによる切断加工実験の模式図およびレーザ切断加工の様子を図2に示す。レーザ光をガルバノミラーで走査しながら試験片に向けて垂直に曲げて、 $f\theta$ レンズにてレーザ光を絞って試験片表面へ照射した。レーザ光の焦点位置は試験片表面とした。試験片は、図2 (b) の写真に示すようにステージから浮かせた状態で固定して、レーザ光を一定の走査速度で1回のみ走査させることで試験片裏面へレーザ光を貫通させることで切断加工した。加工雰囲気は大気であり、レーザ光

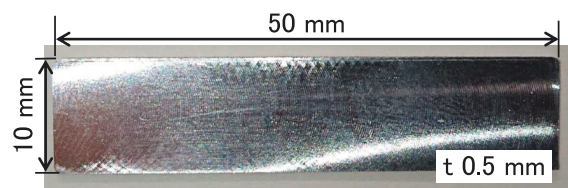


図1 マグネシウム合金の試験片 (MS-AZ31B)

を吸収した試験片材料がレーザ熱加工により除去されることで切断される。

レーザ切断加工実験で使用したQスイッチパルスファイバレーザ発振器の主な仕様を表2に示す。また、Qスイッチパルス発振によるレーザパルスの模式図を図3に示す。本装置では、Qスイッチパルスファイバレーザのレーザ出力、周波数、レーザ光走査速度を制御することができる。予備実験の結果、切断加工が可能であるレーザ光照射実験として、表3に示す実験条件にて試験片の切断加工実験を実施した。周波数200 kHz (パルス幅 114 ns)、レーザ出力 100 W、レーザ光走査速度 1.3 mm/s に固定して、各種

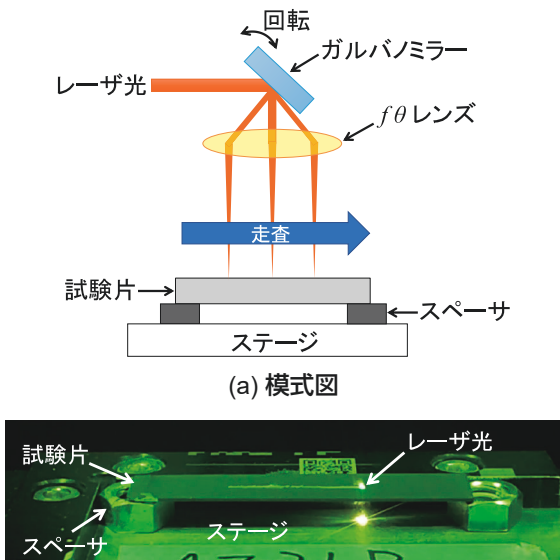


図2 レーザ切断加工

表2 Qスイッチパルスファイバレーザの主な仕様

名称	ファイバレーザマーカ
メーカー	株式会社フジクラ
型式	FLP-G11-100-10-7-04
レーザ発振器	Qスイッチパルスファイバレーザ
出力	100 W
発振モード	Qスイッチパルス
偏光	ランダム
発振波長	1080-1095 nm
繰り返し周波数	100-200 kHz
パルス幅	50-200 ns @ 100~200 kHz 90 ns: 100 kHz 110 ns: 150 kHz 114 ns: 200 kHz
パルスエネルギー	1.0mj @ 100 kHz
ピークパワー	≥6.5 kW(typ.7.0kW)
ビーム品質 (M <sup>2</sup> )	≤1.8(typ.1.5)
ビーム径(4σ)	7 mm

マグネシウム合金を切断加工して、それぞれの切断加工溝性状を比較評価した。なお、レーザ光走査長さは、汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B および難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 は 23 mm、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 は 18 mm として、試験片 1 枚に対してレーザ光を 1 回のみ走査させることで 1 本の切断加工溝を形成した。

### 3. レーザ切断加工結果

#### 3.1 切断溝性状

Qスイッチパルスファイバレーザによる各種マグネシウム合金の切断加工溝性状をマイクロスコップ (松電舎、高倍率 USB3.0 マイクロスコップ FZR350PC2) で観察した結果を図4に示す。

汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の切断溝は、レーザ光入射面および出口面ともにレーザ光走査方向に従って徐々に切断溝幅が広がっていることがわかる。レーザ光走査が進むにつれ

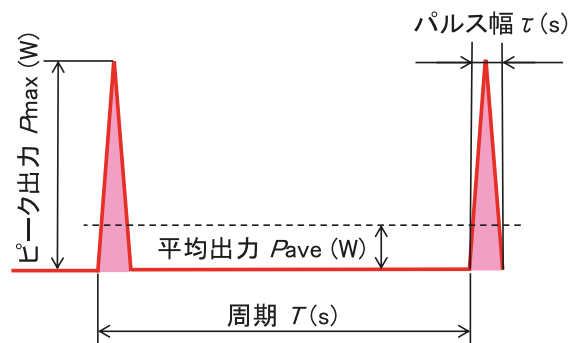


図3 Qスイッチパルス発振によるレーザパルス

表3 レーザ切断加工条件

パラメータ	水準
レーザ出力	100 W
周波数	200 kHz
レーザ光走査速度	1.3 mm/s
パルス幅	114 ns
焦点位置	試験片表面
レーザ光走査長さ	23 mm (MS-AZ31B, MS-AXM620) 18 mm (MS-WZ75)
レーザ光走査回数	1 回
加工雰囲気	大気

て試験片にレーザ加工熱が伝導して熱影響層が拡散した結果であると考えられる。

難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 についてみると、切断溝に沿ってレーザ光入射面および出口面ともに熱影響層は確認されたが、汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B と比較すると僅かである。レーザ光走査距離が長くなっても熱伝導による熱影響層の発生は僅かであり、切断溝幅もほぼ一定であった。難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 は燃焼しにくいマグネシウム合金であることから、レーザ加工熱の発生と試験片への熱伝導のバランスがよく、きれいな切断溝が得られたものと考えられる。KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 は、レーザ光走査の初期段階では試験片のレーザ光出口面までレーザ光が貫通しておらず完全に切断できていないが、レーザ光走査の後半ではレーザ光は貫通しており完全に切断することができた。また、汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B や難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 のような熱影響層はほとんど確認されなかった。KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 は、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 よりも燃焼しにくいマグネシウム合金であることから、レーザ切断されにくく、レーザ加工熱による熱影響層の発生もほとんどなかったものと考えられる。

以上の結果から、Q スイッチパルスファイバレーザを用いることで、熱的物性値の異なるマグネシウム合金である汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 をそれぞれ切断できることが明らかとなった。また、それぞれの切断溝を比較することで、切断溝性状や熱影響層の発生に違

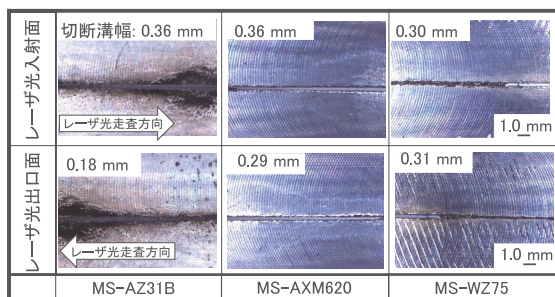


図4 レーザ切断加工溝の状態

いがあることが確認された。そこで、切断加工特性として、切断溝幅やデブリおよびドロス発生を評価することで、切断溝性状の違いを考察した。

### 3.2 切断溝幅

Q スイッチパルスファイバレーザにより切断加工した各種マグネシウム合金の切断溝幅を、レーザ光入射面およびレーザ光出口面について測定顕微鏡（ニコンインスティック、測定顕微鏡 MM-22）により測定した。切断溝幅は、切断加工が不安定となるレーザ光走査開始および終了付近を除く切断溝全長で観察した。本論文では切断溝において最も広い幅である最大切断溝幅を評価した。

各種マグネシウム合金の最大切断溝幅をレーザ光入射面およびレーザ光出口面について測定した結果を図5に示す。汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の場合、レーザ光入射面の最大切断溝幅はレーザ光出口面よりも大きくなった。一方、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 の最大切断溝幅は、レーザ光入射面と出口面でほぼ同程度となった。これらの結果より、汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の場合、レーザ光の吸収率が高く、レーザ加工熱が発生しやすいため、レーザ光入射面の最大切断溝幅が大きくなり、レーザ光が試験片を貫通する際には、レーザ光のエネルギーが大きく減衰して切断溝

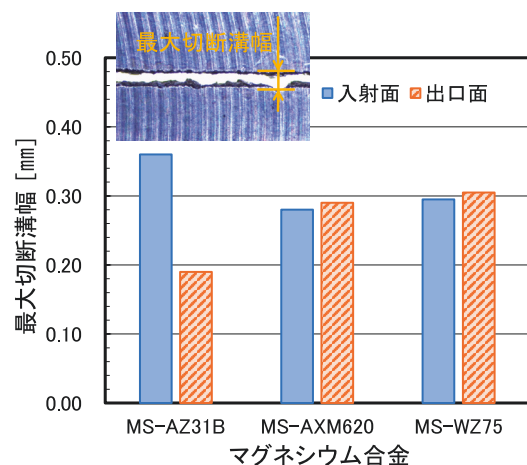


図5 最大切断溝幅の測定結果



幅が狭くなったものと考えられる。また、汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B のレーザ光入射面の最大切断溝幅は、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 と比較して大きい。これは、熱的に溶融・蒸発しやすい材料であり、材料の熱的物性値の違いが影響した結果であると考えられる。一方、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 は、汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B に比べてレーザ光の吸収が悪く、熱的に溶融・蒸発しにくい材料であることから、レーザ加工熱が試験片へ局所的に均一拡散することで、レーザ光入射面と出口面の切断溝幅がほぼ同程度になったものと考えられる。

### 3.3 ドロスおよびデブリ

Qスイッチパルスファイバレーザにより切断加工した各種マグネシウム合金のデブリ高さおよびドロスの高さを測定顕微鏡（ニコンインスティック、測定顕微鏡 MM-22）により測定した。本論文では、試験片の片側一方の側面から観察することで、切断溝の両淵に発生したデブリおよびドロスの最大高さをそれぞれ評価した。

各種マグネシウム合金の最大デブリ高さおよび最大ドロスの高さを測定した結果を図6に示す。汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の最大デブリ高さおよび最大ドロスの高さはほぼ同程度となった。一方、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 の最大デブリ高さおよび最大ドロスの高さをみると、最大デブリ高さのほうが最大ドロスの高さよりも大きな値となった。汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B は、レーザ光の吸収率が高く、熱的に溶融・蒸発しやすい材料であり、レーザ光が試験片を貫通して切断されやすいことから、溶融・蒸発物がレーザ光出口面へ除去されやすく、その結果、レーザ光入射面へのデブリの付着が少なく、レーザ光出口面へのドロスの付着が多くなったものと考えられる。一方、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 については、レーザ光の吸収率が悪く、熱物性的にも切断し

にくい材料であることから、レーザ光出口面へレーザ光が貫通しにくく、その結果、溶融・蒸発物がレーザ光入射面へデブリとして多く付着して、レーザ光出口面のドロス付着は少なくなったものと考えられる。また、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 と KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 を比較すると、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 は、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 よりも、デブリ高さが高く、ドロス高さが小さいことから、レーザ切断加工しにくい材料であると推測される。この結果は、難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 の最大切断溝幅が、KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 よりも僅かに小さい図5の結果と一致している。

## 4. まとめ

Qスイッチパルスファイバレーザにより、熱的物性値の異なる各種マグネシウム合金をレーザ切断加工した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) Qスイッチパルスファイバレーザにより、熱的物性値の異なるマグネシウム合金である汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B、

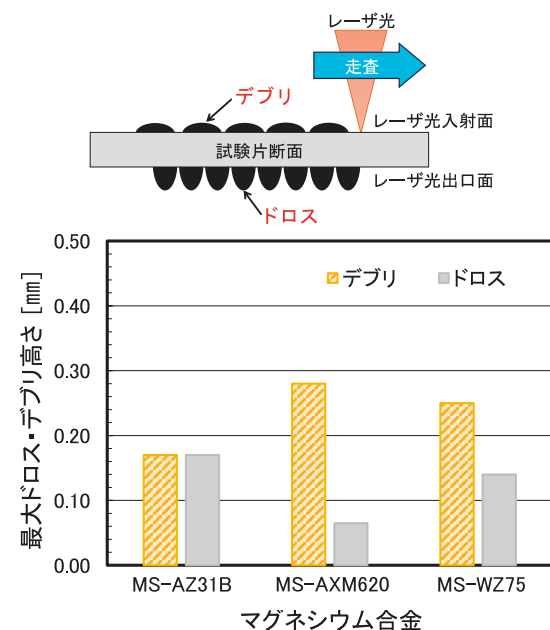


図6 最大ドロス・デブリ高さの測定結果

難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 を、レーザー光吸収剤を試験片表面に塗布することで切断加工できる。

- (2) 汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の切断溝幅は、レーザー光走査方向に従って徐々に大きくなる。難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 の場合、レーザー光走査距離が長くなっても熱伝導による熱影響層の発生は僅かであり、切断溝幅もほぼ一定である。KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 の場合は、レーザー光走査の初期段階では試験片をレーザー光が貫通しておらず完全に切断できていないが、レーザー光走査の後半ではレーザー光が貫通して、熱影響層の発生はほとんどなく完全に切断することができる。
- (3) 汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の最大切断溝幅は、レーザー光出口面よりもレーザー光入射面のほうが大きい。難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 の場合、レーザー光入射面も出口面もほぼ同程度である。材料の熱的物性値やレーザー光吸収率の違いが影響した結果であると考えられる。
- (4) 汎用マグネシウム合金 MS-AZ31B の最大デブリ高さと同最大ドロス高さはほぼ同程度である。難燃性マグネシウム合金 MS-AXM620 および KUMADAI 耐熱マグネシウム合金 MS-WZ75 の場合、最大デブリ高さのほうが最大ドロス高さよりも大きい。レーザー光が試験片を貫通して切断加工しにくいことが影響した結果であると考えられる。

## 謝 辞

本論文は、2020 年度の卒業研究として実施した研究成果である。本研究テーマについて、実験・評価に尽力してくれた西山良和君に深く感謝する。

本研究で使用した各種マグネシウム合金材料

のサンプルおよび物性データを提供頂いた不二ライトメタル株式会社に感謝申し上げます。また、本研究で使用した Q スイッチパルスファイバレーザー加工機を貸出し、レーザー加工について助言を頂いたフジクラプレジジョン株式会社に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧，カロス出版，(2000)，429.
- 2) 重松一典，斎藤尚文，中西勝，馬淵守，松山晴俊，中村守：AZ31 マグネシウム合金薄板のレーザー切断，軽金属，第50巻，9号 (2000)，446-450.
- 3) 遠藤雅守：マグネシウム合金のレーザー切断加工，天田財団助成研究成果報告，Vol. 17，(2004)，71-76.
- 4) Ali Gökhan Demir, Barbara Previtali, and Carlo Alberto Biffi: Fibre Laser Cutting and Chemical Etching of AZ31 for Manufacturing Biodegradable Stents, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2013, Article ID 692635, 11 pages
- 5) 河村能人：航空機実装化を目指した KUMADAI マグネシウム合金の研究開発，軽金属，第65巻，第9号 (2015)，466-471.
- 6) 日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧，カロス出版，(2000)，73-74.
- 7) 日本マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧，カロス出版，(2000)，58.
- 8) 日本マグネシウム協会編：現場で生かす金属材料シリーズマグネシウム，丸善出版，(2011)，50-52.
- 9) Michiaki Yamasaki and Yoshihito Kawamura: Thermal diffusivity and thermal conductivity of Mg-Zn-rare earth element alloys with long-period stacking ordered phase, *Scripta Materialia*, Volume 60, Issue 4 (2009)，264-267.
- 10) 鈴木一孝，斎藤尚文，黄新勝，中津川勲，千野靖正：マグネシウム合金の発火温度に及ぼす合金成分の影響，軽金属，第69巻，第1号 (2019)，46-53.
- 11) 駒井浩，小原久，加藤数良，野本光輝：マグネシウム合金の燃焼試験方法に関する JIS 規格の開発，軽金属，第68巻，第7号 (2018)，347-353.