

(技術資料)

多種混在廃棄プラスチックの付加価値リサイクル

Value Added Recycling Method for Mixed Waste Plastics



長岡 猛*(Ph. D.)

Ph. D. Tsutomu NAGAOKA

Recently, consumption of plastics is increasing and the volume of waste plastics is also increasing. Accordingly, recycle treatment of waste plastics is faced with important problems; considering the global environment and global warming. In this report, we introduce a value added recycling system of mixed waste plastics by using a co-injection molding system for transportation pallets.

まえばき = プラスチックは加工性、軽量化、寿命などに優れた性質を持ち、日常生活のあらゆる分野において、製品材料としてなくてはならない存在となっている。また、その種類も多く使用量も年々増加し、それに伴って排出されるプラスチックの量も増加の一途をたどり、社会問題となるに及んでいる。近年、循環型社会を形成する取組みが様々な分野で実施され始め、廃棄プラスチックのリサイクルを行う必要性が高まっている。プラスチックの生産から消費、廃棄までのサイクルを考えると、従来は生産側を動脈産業、消費、廃棄処理側を静脈産業と呼んでいたが、現在は循環型産業として位置付けられている。

とくに、地球環境への配慮、温暖化ガス(CO₂)の削減などの面でも廃棄プラスチックの処理は重要な課題となっており、加えて原油価格の高騰からもプラスチックの有効活用は重要課題である。

当社は、ポリ塩化ビニール(PVC)の脱塩素や「ビニールプロセス」によるPVCリサイクル事業、廃プラスチックをコークスや石炭の代替材料(還元材)として高炉に吹込むケミカルリサイクルを実施している。

本稿では、容器包装リサイクル法で「その他」に分類される多種混在廃棄プラスチックのマテリアルリサイクルを取上げ、同リサイクルにおける付加価値対応例を報告する。

1. プラスチックの生産、廃棄処理量の現状

プラスチックの全世界での生産量は約1億トンといわれている。2005年の日本におけるプラスチックの生産、消費、廃棄状況を表1に示す。日本での生産量は全世界の約15%に上っている。表1よりわかるように、生産量の約78%が産業廃棄プラスチックと一般廃棄プラスチックの形で廃棄されている。この傾向はここ数年横ばい

表1 プラスチックの生産・消費・廃棄の現状(2005年)

Table 1 Situation of production, consumption and waste plastics in Japan (2005)

	unit 1000t
Production	14,510
Consumption	11,590
Total waste plastics	10,060
(from industries)	(4,860)
(from home and supermarket, etc)	(5,200)
Recycled plastics	6,280
(Thermal recycle)	(4,140)
(Chemical recycle)	(290)
(Material recycle)	(1,860)

状態を続けているが、廃棄プラスチックの約40%は有効利用されずに埋立てに回され、廃棄処分場所の枯渇化や環境汚染などの問題が発生している。

2. 廃棄プラスチックの処理方法

廃棄物に対しては表2に示すように各種のリサイクル法が制定され、実行に移されている。廃棄プラスチックの処理方法を図1に示す。

(1) サーマルリサイクル

サーマルリサイクルは燃焼により熱として回収する方法で、廃棄物発電(231万トン)と固形燃料化(62万トン)が多くを占めている。具体的な取組としては、地方自治体での発電付き焼却炉能力の増強や廃棄プラスチック(RDF)専焼発電、セメントキルン用に向けた燃料化などが挙げられる。

(2) ケミカルリサイクル

プラスチックを分解、ガス化、油化することによってプラスチック原料に還元する方法と、コークスに替えて

*機械エンジニアリングカンパニー 産業機械事業部 産業機械技術部

表2 日本におけるリサイクル法
Table 2 Recycle laws in Japan

Enforcement year	Name of recycle law	object product
1995	containers and packaging recycle law	Glass, paper, PET bottle, plastics container
2001	electric appliance recycle law	TV, washing machine, air conditioner, refrigerator
2001	food recycle law	garbage, food
2002	construction recycle law	concrete, wood, asphalt
2005	automobile recycle law	shredder dust
2006	container and packing recycle law (renewal)	

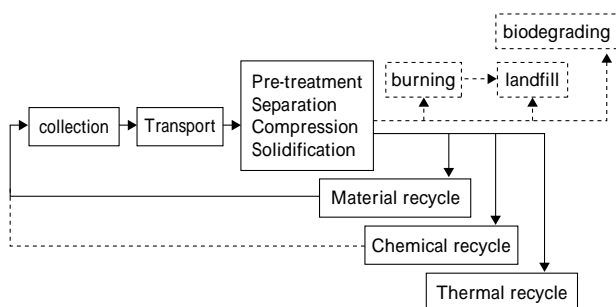


図1 廃棄プラスチックのリサイクル処理
Fig. 1 Recycling treatment for waste plastics

高炉に吹込む方法が代表的である。前者では、回収 PET ボトルから PET 材料への還元や、超臨界水によるポリウレタンの分解による原材料への還元などが挙げられる。PET ボトルについては、回収品の中国への流出などで回収量の低下を招き、処理設備の操業悪化などの問題が発生している。後者は、製鉄会社でコークスに替えて還元剤として利用するもので、一般廃棄プラスチックの大量処理方法として利用されているが、各種のプラスチックの混在によりペレット化段階での選別処理など、なお技術開発が必要である。

(3) マテリアルリサイクル

回収された廃棄プラスチックを原料として再利用する方法で、比較的容易に分別され回収される産業廃棄プラスチックと、各種プラスチックが混在した状態で回収される一般廃棄プラスチックに分類される。一般廃棄プラスチックの代表例としては、容器包装リサイクル法に基づき家庭やスーパーマーケットなどから回収された「その他プラスチック」に分類されるプラスチックで、通称「容リ材」と呼ばれる各種プラスチックが混在するプラスチック（以下、容リ材という）が挙げられる。

容リ材は各種のプラスチックが混在しているため、再利用にあたっては強度や、仕上がり外観などの多くの問題を抱えている。

3. プラスチックのマテリアルリサイクル

廃棄プラスチックを元の製品の原料として再利用するマテリアルリサイクルは、資源、エネルギー、CO₂ガスの排出量削減などの観点からも有意義であるといえ、とくに最近の原油高騰、地球温暖化問題への対応として有効な方法である。

容リ材以外の材料は、産業廃棄プラスチックとして比較的容易に分別でき、リサイクルPET 材料としての再利用¹⁾、自動車のバンパや内装品への再利用²⁾⁻⁴⁾、家電製品への再利用⁵⁾⁻⁷⁾などが実用化されている。

一方、プラスチックは多機能で種類も多い材料であり、一般廃棄プラスチックあるいは容リ材として回収される時点では各種のプラスチックが混在した状態である。これらプラスチックの間には相溶性がないものも多く、熔融混合を行った場合にプラスチック間の界面はく離の発生や強度の低下が起り、再利用時に問題になることが多い。この問題の解決にあたっては、完全とはいえなくても回収したプラスチックを分別することが必要になる。図2にプラスチックの分離、選別技術を示す。

分離、選別にあたっては、手作業による分別（中国などはこの方法が主流）や、水槽内で洗浄を兼ねた比重による湿式分別が多く行われている。洗浄にあたって水を使用する場合、洗浄水には各種の汚染物質や調味料の主成分である醤油の塩分などが含まれることが多く、洗浄水の排出時には処理を確実にしないと、排水による河川の汚染などの二次公害を発生させる原因となる。最近では赤外線分光分析技術と空気分離を組合わせた乾式選別装置や、ハンマリングによる乾式洗浄装置が開発されている。

廃棄プラスチックは分離、選別、洗浄粉碎された後に熔融、混練を行い最終製品として製造される。この製造方法には射出成形、押出成形、およびプレス成形があり、各種の成形品が製造されている。しかし、多種プラスチックの混在のために強度や仕上がり外観などの面で劣り、価値の低い成形品となっている。

次章では多種プラスチックが混在した容リ材の付加価値リサイクル例について述べる。

Technology for separating and selecting	Mechanical	Gravity, Floating
	Chemical, Thermal	Melting, Solution
	Electrical	Magnet, Static electricity
	Analyze	mark, spectrum, label

図2 プラスチックの分離・選別技術
Fig. 2 Separating and selecting technology for Plastics

4. 容り材の付加価値マテリアルリサイクル

4.1 容り材の組成

容り材は一般家庭やスーパーマーケットより回収された各種のプラスチックが混在したもので、回収場所や時間によってもその組成は異なる。容り材は回収された後、比重選別などによりポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP) を主体としたポリオレフィン系容り材、ポリスチレン (PS: 弁当箱、緩衝材などに利用)、ABS 樹脂を主体としたポリスチレン系容り材、農業用フィルムなどを主体としたポリ塩化ビニール (PVC) 系容り材に大別される。容り材のリサイクル用途にはオレフィン系容り材が多く使用される。表3は回収時期によるオレフィン系容り材の成分の分析結果例 (回収は千葉県柏市) を、図3には容り材の成分分析を実施した赤外線分光分析による例を示す。オレフィン系リサイクル樹脂では、PP, PE が全体の約80%を占めるが、約20%はPS, PET, PVC などその他の樹脂、アルミ箔、砂などで構成される。

4.2 容り材の付加価値成形

容り材の付加価値成形法としては、木粉および改質剤

を添加した押出成形やプレス成形が一般的に使用されている。また、高付加価値を図る成形法として、容り材を内部材料 (コア材) として使用するサンドイッチ射出成形法がある。

4.2.1 プレス成形における容り材の物性改善例

容り材は前述のとおり多種プラスチックが混在していることから、そのままでは十分な物性を得ることはできず、改質材などの添加による物性改善が必要となる。オレフィン系容り材については、ナノレベル (100nm) の鉱物を添加することで物性の改善を図ることができる。

その一例を表4に示す。ナノレベルの鉱物を3%添加することにより、プレス成形品で引張強度で約60%、曲

表4 改質材添加による物性の改善例 (成形法: プレス成形)

Table 4 Property improvement by reforming agent (molding method: compression molding)

properties	unit	contents of performing agent (%)		
		0	3	5
Tensile strength	MPa	9.66	15.32	12.07
Flexural strength	MPa	28.62	35.91	35.06
Charpy impact strength	KJ	1613	2079	2791

表3 容り材の回収日による成分分析結果

Table 3 Composition of waste material

(unit: wt%)

Date Element	2001				2002		mean
	April 4	May 11	Aug.27	Oct.25	Feb.6	Nov.19	
PP	34	27	34	40.4	40	38.5	35.7
PE	43	50	43	34.4	37	40	41.3
PVC	1	1	0.6	1.2	0.9	1	1
PS	11	12	12	13	12	11	12
PET	1	1	1	1	1	1	1
PA	1	1	1	1	1	1	1
Oligomer	4	3	4	4	4	3.5	3.8
mud	2	3	2	2	1.5	2	2.1
Garbage, aluminum	3	3	2	2	2.5	2	2.4

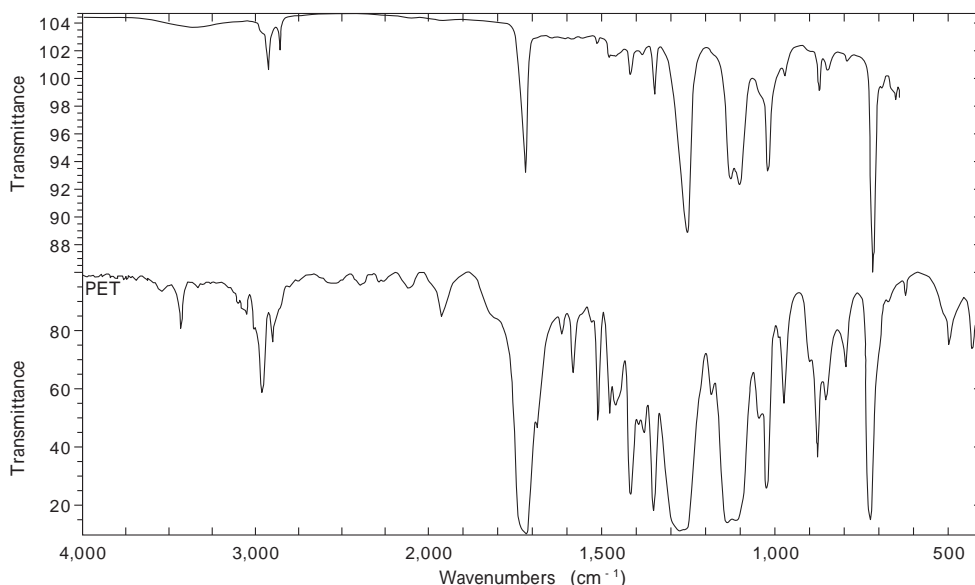


図3 赤外線分光分析測定例 (高温キシレン溶融物)

Fig. 3 Example of FTIR of insoluble part by high temperature xylene

げ強度で約 25%の物性向上を図ることができた。

4.2.2 サンドイッチ射出成形

サンドイッチ射出成形法は 1970 年代に英国 ICI 社より概念が発表され、特許化の後にドイツ Battenfeld 社に独占実施権が与えられた技術である。同概念を図 4⁸⁾ に示す。1990 年代までは 1 社への独占実施権供与により、実施供与先のユーザ以外には普及しなかったが、基本特許が満了した後に、各射出成形機メーカーの参入が活発化し、リサイクルを中心に技術開発が進められた^{9),10)}。日本では、自動車バンパのリサイクル法として塗装膜を削除せずに粉碎のみでコア材に使用するサンドイッチバンパが実用化された¹¹⁾。

4.2.3 容り材の強度特性

オレフィン系容り材 5 種類 (図 5: RM1 ~ 5 で示す) を用いて、単体および PP 樹脂をスキンにしたサンドイッチ成形体の物性 (引張強度) を図 6 に示す。

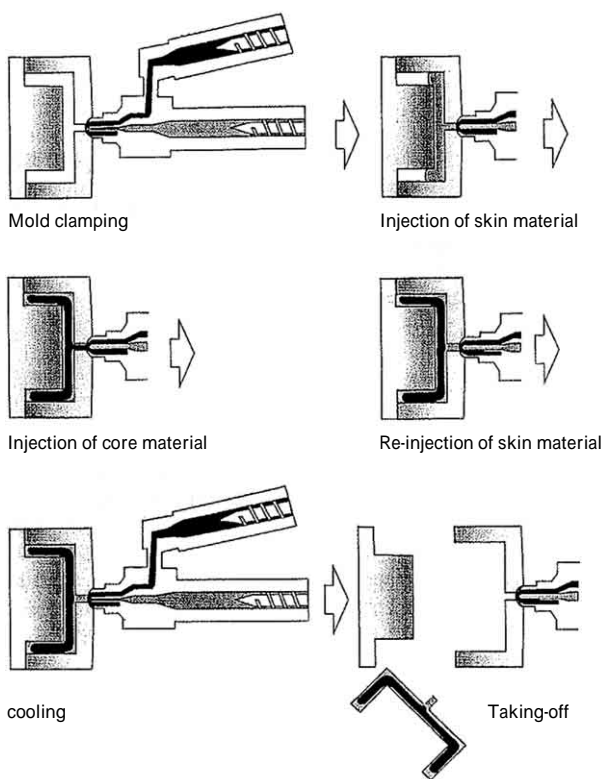


図 4 サンドイッチ射出成形概念図
Fig. 4 Concept of co-injection molding

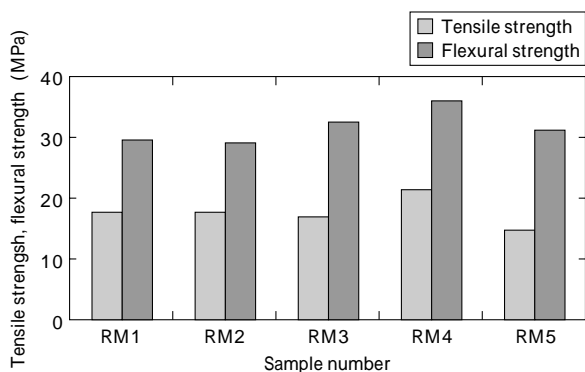


図 5 容り材の物性

Fig. 5 Tensile strength and flexural strength of each material

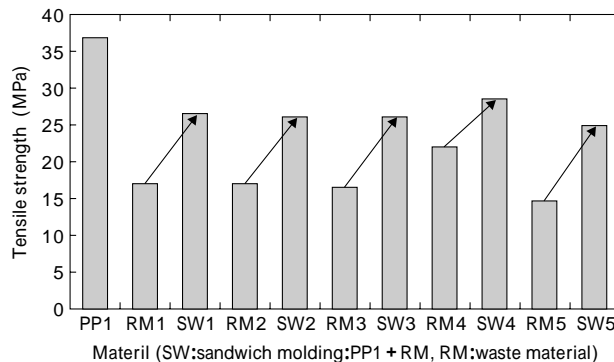


図 6 サンドイッチ成形による物性測定 (引張強度)
Fig. 6 Tensile strength of each material (SW)

容り材単体では PP 樹脂の約 50%の強度であるが、サンドイッチ成形 (図中 SW で示す) によってスキン層とコア層の複合構造となることにより、引張強度は PP 樹脂の 70~75%まで改善される結果を示した。

5. 容り材を活用した物流パレットへの展開

容り材を使用したパレットとして、100%容り材のパレットが製造されているが、表 3 に示したように容り材は材料組成にばらつきが多く品質を確保するのは困難である。そこで、品質を高めて付加価値を向上させるべく、容り材をコア層として利用するサンドイッチ成形に注目した。

5.1 材料

サンドイッチ成形による物流パレットの実用化にあたってはコア材に容り材、スキン材にビール瓶コンテナのリサイクル材 (10~15 年使用) を使用した。また、容り材の原料であるペレットは、押出機で製造するよりペレットミルで製造する方が低コストである。そこでさらなるコストダウンを図るために、ペレットミルのみで製造されたペレット (図 7) を使用すべく、専用成形機を株式会社製作所と共同開発した。同機の外観を図 8 に示す。

5.2 実験結果

成形されたパレット各部分でのコア材の充填状況を図 9 (図中、淡色部分がコア材) に示す。また、品質確認は JISZ0602 および JISZ0606 に基づき実施した。テストの一例として落下衝撃試験による割れ確認テストを図 10 に示す。落下高さは自主設定高さとして 3m を採用した。(JIS では 0.5m)

5.3 物流パレットへの応用

容り材をコア材として成形したパレットの品質は JISZ0602 および JISZ0606 の基準に合格し、落下衝撃試験では同基準以上の自主基準に合格し、A 種パレットとして応用が可能であることが判明した。また、サンドイッチ構造により表 5 に示すような感性品質 (容り材による臭い、色) も優れることが明らかとなった。実成形におけるコア材の比率は 37.8%であり、今後コア比率を大きくし、リサイクル材の使用比率を高める開発が必要である。



図7 リサイクルペレット
Fig. 7 Pellet of recycled plastics



図8 リサイクルサンドイッチパレット成形機
Fig. 8 Sandwich injection molding machine for pallet

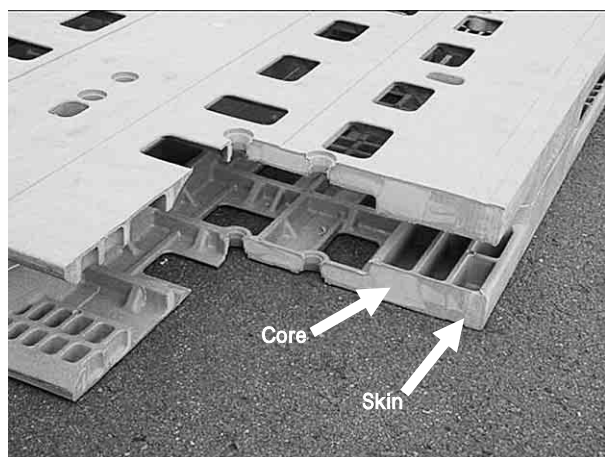


図9 物流パレット断面
Fig. 9 Cross-section of sandwich injection molded pallet

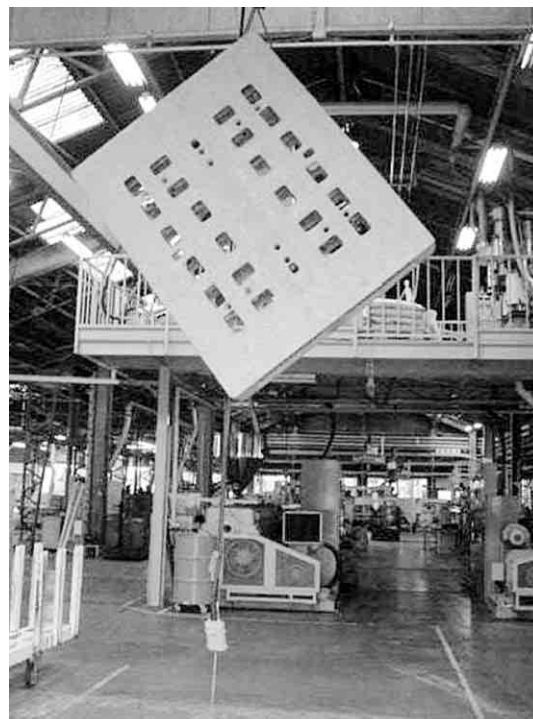


図10 落下試験（落下高さ3m）
Fig.10 Corner drop strength test (3m)

表5 サンドイッチ成形によるパレットと従来のリサイクルパレットの比較
Table 5 Comparison between sandwich molded pallet and standard molded pallet

	Sandwich molded pallet	Standard (injection, press) molded pallet
Quality	JIS A class (possible to auto-warehouse)	JIS B class
Smell	Weak or no smell of waste plastics	VOC and strong smell of waste plastics
Color	Variable color by requirement	Black or grey
Market price	¥2,000 ~ 3,000	Less than ¥2,000

むすび=プラスチックのマテリアルリサイクルで最も処理が困難と考えられる容り材は、異種材料が混在する材料の代表といえる。

容り材の組成は、回収場所や回収時期、回収後の処理設備などによって異なる。オレフィン樹脂容り材においてもオレフィン以外のプラスチックや異物も含まれることから、その強度特性はいわゆるバージン材料（PP）の50%以下であり、ばらつきも大きい。

このような異種材料が混在した回収プラスチックのマテリアルリサイクル法として、容り材をコア材としたサンドイッチ成形が適しているといえる。

プラスチックの排出量は今後増加すると予想される。排出された廃棄プラスチックの処理による地球環境への

負荷低減を図るためにも、マテリアルリサイクルを実施することが重要になる。

その意味において、排出されたプラスチックを熱源として利用するサーマルリサイクルからマテリアルリサイクルによる価値のあるリサイクルへと変換することが必要になる。

また、マテリアルリサイクルにおいても、カスケードリサイクルから付加価値リサイクルへと変換することが重要である。

付加価値マテリアルリサイクル実用化の一例として、サンドイッチ射出成形を応用した物流パレットを取上げた。このパレットは表5に示したような特徴を持ちJIS Aクラスのパレットとして使用可能であり、付加価値の

高いマテリアルリサイクル例といえる。サンドイッチ射出成形によるプラスチックのリサイクルは物流パレット以外にも、自動車バンパや複写機カバーなどでも実用化されている。

このような技術を有効に利用して、地球環境に対しても有意義であるプラスチックの再利用が促進されることが求められる。

なお、プラスチックのマテリアルリサイクルにあたっては、いまだに残っている「汚い」「安い」「悪い」などのイメージを払拭し、プラスチックへの理解と分別回収の拡大を図ることが重要である。このためには、産・官・学の3者が協力して消費者の啓蒙活動を行うとともに、再利用技術のさらなる改良を行っていく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 居野家博之ほか：成形加工，Vol.14, No.3 (2003) pp.37-38.
- 2) 長岡 猛：日本塑性加工学会日韓ジョイントゼミナー資料 (2004年)。
- 3) 長岡 猛：技術士，Vol.17, No.11 (2005) pp.12-15.
- 4) 浅利満頼ほか：自動車技術，Vol.61, No.10 (2007) pp.114-118.
- 5) 松尾雄一ほか：成形加工，Vol.14, No.3 (2003) pp.35-36.
- 6) 濱田泰以ほか：成形加工，Vol.14, No.3 (2003) pp.77-78.
- 7) 隅田憲武ほか：プラスチックエージ，Vol.53, No.11 (2007) pp.77-82.
- 8) D. Watanabe et al. : Intern. Polymer Processing , Vol.18, No.4 (2003) pp.398-404.
- 9) D. Watanabe et al. : Intern. Polymer Processing , Vol.18, No.4 (2003) pp.405-411.
- 10) T. Nagaoka et al. : The Japan-Korea Plastics Processing Joint Seminar 5th meeting, 7 (2004)
- 11) 長岡 猛：成形加工， Vol.10, No.11 (1999) pp.816-822.