合成樹脂およびガラス繊維強化プラスチックの破壊挙動

奈良崎 則 雄*・若 松 貴 英**

Fracture behaviors of polymer and GFRP

Norio NARAZAKI and Takahide WAKAMATU

The size reduction of waste polymers and composite materials has become an important subject in the field of waste reclamation. And these energy consumption by size reduction of waste polymer and composites as GFRP (Glass Fibre Reinforced Plastics) are very large for the reason of their high strength and plastical properties.

Therefore this investigation has been carried out as a part of assuring energy saving on pulverizing. Then, in this investigation, stress (load)-strain (displacement) curves on the 4 kinds of fracture process (tensile, compressive, flexural and shearing) are measured 4 kinds of resins and GFRP, and next fracture surface energies in individual cases are calculated from their curves and compared them.

The results obtained are as follows :

- (1) Fracture surface energy on shearing load is least in 4 kinds of load.
- (2) Fracture energy of GFRP are exceedingly large, it is owing to reinforcement of glass fibre and interlaminar delamination.

1. 結 言

合成樹脂および合成樹脂をガラス繊維等で強化したFRP（強化プラスチック）は種々の優れた性質をもっているところから、各種の産業をはじめとし日常生活の多くの分野において使われ、それらの生産量、消費量も飛躍的に増加してきたが、こうした量的拡大の結果、廃棄物量も増え我々の生活環境を著しく悪化させるに至っていることも事実である¹⁾。またオイルショックを契機として資源問題が大きくクローズアップされ、廃棄物を資源として再評価する気運が高まり、合成樹脂廃棄物の資源化処理が注目されてきており、合成樹脂成形加工業においても合成樹脂原料の無駄を出来るだけ少なくする成形加工方法の開発と、これら成形加工工程において生ずる副産物、不良品等の再生処理技術の開発が大きな課題となっている。

このように、環境保善、資源有効利用の両面から、各方面で合成樹脂廃棄物の処理システムの検討が行われて

いるが^{2,3)}、合成樹脂廃棄物は性質、形状とも雑多であるため収集したものをただちに再生、資源化などの最終処理に移すことは一般的に不可能であり、適切な中間処理を行い最終処理に都合の良い形態に変える必要がある。破碎操作は切断などにより、ある程度の大きさに解体された廃棄物をさらに細く、かつ均一な大きさにして最終処理に適する品質、形状にするとともに、嵩比重を大きくして運搬、貯蔵に適するようにする工程で、中間処理操作として非常に重要な位置を占めている。

このような背景から、本報告においては破碎に際してエネルギー的に有利な破碎荷重の負荷形態を究明するために、代表的な合成樹脂およびGFRPに関して、荷重の負荷形態およびその時の破壊形態に関して検討を行った。

合成樹脂においても脆性破壊に近い破壊をするものと延性破壊をするものがあり、また、それら樹脂をマトリックスとしたGFRPの破壊形態は内部破壊現象を含み、合成樹脂単体に比較して一層複雑である。このような観点から、比較的、脆性破壊を起しやすい合成樹脂（不飽和ポリエステル）、延性破壊を起しやすい合成樹脂

* 三菱瓦斯化学株式会社システム部

** 京都大学工学部教授
昭和58年9月22日受理

(ポリ塩化ビニル), その中間の性質を有する合成樹脂(ポリメチルメタクリレート)および, 不飽和ポリエステル樹脂をマトリックスとし, ガラス繊維を強化材とした GFRP の 4 種類の材料の各種荷重による変形と破壊およびその時に必要とされる破壊エネルギーに関して検討を行った。

2. 試 料

本研究において採用した合成樹脂試料は板厚が 3 mm と 12 mm の平板である。不飽和ポリエステル樹脂 (USPES: Unsaturated polyester) は実験室で合成した樹脂であり, 飽和酸 (無水フタル酸: PAn), 不飽和酸 (マレイン酸: MAn), グリコール (プロピレングリコール: PG) の構成がモル比で 3:2:5 になるように合成した樹脂 (3/2 PMP) をスチレンモノマーで希釈し, スチレンモノマーが 40% (重量) になるように調整後, 鋳込み重合により作成したものである。ポリ塩化ビニル (PVC) は三菱樹脂㈱製の平板, ポリメチルメタクリレート (PMMA) は三菱レーヨン㈱製のアクリライトを用いた。

GFRP としては旭ファイバーグラス㈱製 #450 チョップドストランドマットを強化材とし, 不飽和ポリエステル樹脂をマトリックスとして手積法により作成した板厚が 3 mm (#450 チョップドストランドマット 4 層) と 12 mm (450# チョップドストランドマット 16 層) となる平板を用いた。これらの合成樹脂および GFRP に関しては第 1 表にまとめた。

3. 変形および破壊

合成樹脂および GFRP の破壊工程において, エネルギー的に有利な荷重形態を見出すことを目的として, 樹脂の中では比較的脆い性質を有する USPES と延性破壊を起しやすい PVC, それらの中間の性質を有する PMMA および USPES をマトリックスとしガラス繊維を強化材とした GFRP の 4 種類の試料の変形, 破壊挙動および破壊エネルギーに関して検討を行った。この時エネルギー的に有利な荷重形態を見出すために, 引張, 圧縮, 曲げおよび剪断荷重による荷重-変形の関係を求

第 1 表 試 料

試 料 名	一 覧
USPES	注型板 (実験室にて合成)
PMMA	平 板 三菱レーヨン㈱製アクリライト
PVC	平 板 三菱樹脂㈱製硬質塩ビ
GFRP	積層板 硝子 繊維: #450 チョップドストランド マトリックス: USPES

第 1 図 引張試片形状

第 2 図 各試料の引張応力-ひずみ曲線

め, 破壊後のそれら試片の形状および破壊エネルギーの関連性に関して検討を行った。

3.1 引張荷重による変形および破壊

引張試験は JIS K 6911 に準じて行った。試片形状は第 1 図に示す通りである。第 1 図の試片をインストロン型万能試験機にセットし, 試片中央の 60 mm 内に標点間 50 mm の作動トランスを取り付けクロスヘッド速度 500 mm/min の引張荷重を加え, 引張荷重-ひずみ曲線を求め, 次にこの引張荷重を試片断面積 $10 \times 3 \text{ mm}^2$ で除することにより, 引張応力-ひずみ曲線を求め, 各試料について第 2 図に示した。第 2 図から各試料に関して比較した結果, 次項のことが明確となった。

- (1) USPES は引張応力-ひずみ曲線からは降伏現象を呈する前に破断することが認められ, 比較的脆性破壊に近い破壊を呈することが分る。
- (2) ポリ塩化ビニル樹脂 (PVC) は USPES とは大幅に異り, 降伏現象が明確に認められ, 破断点までのひずみは著しく大きく, 延性破壊を呈することが分る。
- (3) ポリメチルメタクリレート樹脂 (PMMA) は PVC ほど破断ひずみは大きくないが, 降伏現象は明確に認められ, 延性破壊を呈することが分る PMMA の最大応力値は PVC に比較して大であることが認められる。
- (4) GFRP の引張応力-ひずみ曲線の最大応力値はガラス繊維で強化されているため, 他の合成樹脂単体試料の最大応力値に比較してはるかに大きく, また USPES の引張応力-ひずみ曲線と異り, 降伏点が認められる。この場合, GFRP は降伏後に内部破壊 (マトリックス中の亀裂発生, 強化繊維の抜け等) を伴いながら伸長する

ため応力-ひずみ曲線はジグザグになるが USPES 単体に比較して破断伸び率はかなり大きくなることが認められる。変形初期の弾性率は直交異方性理論⁴⁾とひずみエネルギー法⁵⁾を組み合わせで求めた値と比較的近い値となり、強度は次の2式⁶⁾で推定した値の中間程度となる。(1)式は強化繊維がマトリックスより早期に破断する場合に(2)式はマトリックスの方が早期に破断する場合に成立すると考えられる。

$$\frac{F}{V_f} = \sigma_{fv} \left(3/8 + \frac{1-V_f}{V_f} \frac{E_m}{E_f} \right) \quad (1)$$

$$\frac{F}{V_f} = \sigma_{fu} (3/8) \quad (2)$$

ただし F : 引張強度, σ_{fv} : ガラス繊維引張強度

V_f : ガラス繊維体積分率

E_m, E_f : マトリックス, ガラス繊維の弾性率

引張破壊後の合成樹脂試片の模式図は第3図に示す通りである。USPES の破壊試片形状は第3図(a)に示す形態に属し、脆性破壊に近い破壊を起していることが認められる。このことは第2図の引張応力-ひずみ線図の結果からも分る。PMMA の破壊後の試片形状は第3図(b)に示す通りであり、また、PVC の破壊後の試片形状は第3図(c)に示す通りで、各々、延性破壊を起していることが認められる。第2図の各応力-ひずみ線図からも分るように、これら延性破壊を呈する合成樹脂 PMMA および PVC の破断に要するエネルギー(応力-ひずみ線図に囲まれる面積)は、脆性破壊をする USPES に比較して著しく大きいことが認められる。

GFRP の引張破壊後の模式図を第4図に示すが、破断面においては剝離により抜けた繊維束が見えており、また、その近傍には、変形過程において発生した亀裂や層間剝離が多数存在している。GFRP の破壊においては、

第3図 引張破壊後合成樹脂試片模式図

第4図 引張破断後の GFRP 試片模式図

これらの内部破壊により大量のエネルギーが吸収されていると考えられる。

3.2 圧縮荷重による変形および破壊

JIS K 6911 に示す圧縮試験法に従い、各試料に関して圧縮試験を行った。第5(a)図に示す試片を第5(b)図に示す圧縮試験装置にセットし、この装置をインストロン型万能試験機に据付け、クロスヘッド速度が 500 mm/min となる圧縮荷重を加え、圧縮荷重-クロスヘッド

第5図(a) 圧縮試片形状

第5図(b) 圧縮試験装置

第6図 各試料の圧縮応力-ひずみ曲線

第7図 圧縮破壊合成樹脂試片模式図

変位曲線を求めた。圧縮荷重を試片断面積 $12 \times 12 \text{ mm}^2$ で除し、圧縮応力を求め、また、一方、クロスヘッド変位量を試片長 24 mm で除し、この値を圧縮ひずみと見なし（試験装置、試験機の変形は微小であるので無視した。）、圧縮応力-ひずみ曲線を求め、各試料に関して第6図に示した。第6図からは次項が明確となった。

(1) 不飽和ポリエステル樹脂 (USPES) の引張応力-ひずみ曲線（第2図）には降伏点は認められなかったが、圧縮応力-ひずみ曲線には降伏点は認められる。また、引張最大応力（第2図）に比較して圧縮最大応力（第6図）は大である。

(2) ポリメチルメタクリレート樹脂 (PMMA) およびポリ塩化ビニル樹脂 (PVC) は、引張の場合と同様に降伏点が認められ、延性挙動を呈するが、上降伏点、下降伏点が認められた後、変位の増大に伴い応力は増大する傾向にあり、圧縮ひずみ50%においても破壊（亀裂・分離）には至らない。

(3) GFRP は降伏後、圧縮ひずみの増大に伴い、急激に荷重は低下する。また、その後、内部破壊（局部座屈による層間剝離が主である。）を発生するため応力はジグザグに低下する。

合成樹脂圧縮破壊後の模式図は第7図に示す通りである。USPES の圧縮変形破壊途中の試片は第7図 (a) に示すように圧縮荷重を受けると、中央に圧縮荷重に垂直な方向の引張応力が発生し、その部分に亀裂が生じ、試片角部には点線に示す方向の剪断応力によるすべり破壊が発生し、破壊に到達する。PVC および PMMA の圧縮変形した試片は第7図 (b) に示す通りで、圧縮荷重を受けると延性流動が起り、試片の断面積は増大する。第6図の圧縮応力-ひずみ曲線からは、PVC および PMMA とともに下降伏点後において応力（荷重を初期断面積で除

第8図 圧縮破壊 GFRP 試片模式図

第9図 3点曲げ試験模式図

したものは増大し続けることが認められるが、この現象は、第7図 (b) の模式図に示すように、下降伏点後に試片の断面積が大幅に増大することに起因すると考えられる。

GFRP 圧縮破壊試片の模式図は第8図に示す通りである。圧縮荷重を受けると中央部分に圧縮荷重と垂直な方向の引張応力が発生し、それにより、局部座屈、層間剝離が発生し、その後、大きな座屈が進行し、中央線付近にて2つに分離する。

3.3 曲げ荷重による変形および破壊

JIS K 6911 に示す曲げ試験法に準じて曲げ試験を行った。第9図に示す3点曲げ形態でクロスヘッド速度が 500 mm/min となるようにして曲げ荷重-たわみ曲線を求めた。このようにして求めた各試料の曲げ荷重-たわみ曲線を第10図に示した。第10図からは次項が明確になった。

(1) 不飽和ポリエステル樹脂 (USPES) の曲げ荷重-たわみ曲線には降伏現象は認められず、比較的脆性に近い破壊を起す。これは引張破壊の場合と同様である。

(2) ポリ塩化ビニル (PVC) およびポリメチルメタクリレート (PMMA) は上降伏点が存在し、その後に破断することが認められ、延性破壊を起していると考えられる。

(3) GFRP の曲げ荷重-たわみ曲線は USPES のそれとは異り降伏現象が認められる。また、この降伏現象は PMMA, PVC のそれとも異なる。PMMA, PVC は塑性変形による降伏が認められ、比較的なめらかな曲線となる

第10図 各試料の曲げ荷重—たわみ曲線

第11図 曲げ破壊後合成樹脂試片模式図

が、GFRP の場合にはジグザグを呈して下って行く。

合成樹脂試片の曲げ破壊後の模式図は第11図に示す通りであるが、USPES の曲げ破壊後の試片は第11図 (a) に示す形態に属し、応力—ひずみ線図にも認められたが、脆性破壊に近い破壊を起していると考えられる。PMMA の破壊後試片も第11図 (a) に近い形状であるが、破面近傍においては応力方向と直角方向に多数のクレーズ***が存在することが認められる。PVC の破壊後の試片形状は第11図 (b) に示す通りで、破面近傍においては繊維状の延性破壊が認められる。PVC および PMMA の破壊に要するエネルギー（応力—ひずみ線図に囲まれる面積）は USPES に比較して著しく大きいことは、これらの破壊後試片の形態からも理解出来る。

GFRP の場合、降伏に至る前においても内部破壊を伴いながら降伏点に到達し、その後も樹脂の破壊、樹脂—繊維間の剥離等の内部破壊を伴いながら破壊は進行する。GFRP 曲げ破壊後模式図を第12図に示すが、試片は曲げ

*** 塑性変形域に生成する微細亀裂で、その生成により主亀裂先端のエネルギーを吸収し、主亀裂の進行を妨げる。

第12図 曲げ破壊後の GFRP 試片模式図

荷重を受けることにより、上下両表面に圧縮、引張応力が発生し、また、試片の中間層近傍には層間剪断応力が発生するため、試片破断部近傍には層間剥離による白化現象と繊維束の抜け現象が同時に認められる。また下表面には多数の亀裂が発生しており、破壊に際してはこのような内部破壊を伴うため、曲げ破断に至るまでには大量のエネルギーが吸収されると考えられる。

3.4 剪断荷重による破壊

第13図に示すようなポンチダイの間隙を変化させることが可能である圧縮剪断試験装置に第14図に示す形状の圧縮剪断試片を固定し、この装置をインストロン型万能試験機により、クロスヘッド速度 500 mm/min で圧縮し荷重—変位曲線を記録計にて記録し、荷重を断面積 $10 \times 3 \text{ mm}^2$ で除することにより、圧縮応力—変位曲線を求めた。

ポンチダイの間隙 C を $C=0.5 \text{ mm}$ とした場合の

第13図 圧縮剪断試験装置

第14図 圧縮剪断試片

第15図 剪断応力-変位曲線

USPES, PVC および GFRP の剪断応力-変位曲線を第15図に示した。第15図からは、剪断応力-変位曲線に囲まれる面積（剪断破壊エネルギーと考えられる）は、GFRP が一番大きく、PVC, USPES の順になっていることが分る。また、ポンチダイ間隙を大にした場合、著しく破壊が困難になり、曲げ変形によるエネルギー吸収量が大きくなる。

破壊後試片の模式図は第16 (a), 16 (b), 16 (c) 図に示したが、USPES の破壊部はガラス状の破壊が認められ、また微小亀裂が存在しているが、PVC の破面は粗面状になっており、延性破壊を起していることが分る。

GFRP の破断面近傍においてはガラス繊維が細く露出し、マトリックスは細く砕けており、それに接する領域は白化している。この白化領域はCが小さい場合に比較して、Cが大きい場合は著しく大である。

4. 荷重形態と破壊所要エネルギーの関する検討

合成樹脂および GFRP の破碎操作においては破碎エネルギーを可能な限り小さくする必要がある。このため、この項においては、合成樹脂および GFRP に関して各種荷重形態における破壊所要エネルギーを求め、それらの大小と荷重形態の適否に関して検討を行った。

引張破壊が起るまでの単位体積当りの変形に要するエネルギー (U_0) は第2図の引張応力-ひずみ曲線の積分により求めることが出来る。引張破壊に際して引張試片

第16図(a) 剪断破壊後 USPES 試片模式図

第16図(b) 剪断破壊後 PVC 試片模式図

第16図(c) 剪断破壊後 GFRP 試片模式図

(第1図) の中央部 $60 \times 10 \times 3 \text{ mm}^3$ の部分 (V_0) のみが変形し、破断により生成する新表面積を試片の断面積 $10 \times 3 \text{ mm}^2$ (A_0) と仮定した場合、単位破断面生成エネルギー (U_A) は次の式で表すことができる。

$$U = U_0 \cdot V_0 / A_0 \quad (3)$$

このようにして求めた U_0 および U_A を第2表に示す。

圧縮破壊が起るまでの単位体積当りの変形に要するエネルギー (V_0) は第6図の圧縮応力-ひずみ曲線の積分により求めることが出来る。圧縮破壊に際しては圧縮試片は全体 $12 \times 12 \times 24 \text{ mm}^3$ (V_0) が変形し、また、圧縮応力と垂直方向に亀裂が入り、試片が2つに分離すると仮定した場合、破断により生成する新表面積は $12 \times 24 \text{ mm}^2$ (A_0) になると考えられるので、単位破断面生成エネルギー (U_A) は(3)式で求めることが可能である。このようにして求めた U_0 および U_A は第3表に示す通り

第2表 引張破壊エネルギー

試料名	USPES	PVC	PMMA	GFRP
単位体積当りの引張破壊エネルギー U_0 ($\text{kg} \cdot \text{mm} / \text{mm}^3$)	0.099	0.912	0.177	0.464
単位面積当りの引張破壊エネルギー U_A ($\text{kg} \cdot \text{mm} / \text{mm}^2$)	5.94	54.72	10.62	27.84

第3表 圧縮破壊エネルギー

試料名	USPES	PVC	PMMA	GFRP
単位体積当りの圧縮破壊エネルギー (kg-mm/mm ³) U_0	0.703	—	—	1.207
単位面積当りの圧縮破壊エネルギー (kg-mm/mm ²) U_A	8.436	—	—	14.489

第4表 曲げ破壊エネルギー

試料名	USPES	PVC	PMMA	GFRP
曲げ破壊エネルギー (kg-mm) U_T	205.33	—	384.50	—
単位面積当りの曲げ破壊エネルギー (kg-mm/mm ²) U_A	2.737	—	5.126	—

である。ただし、PVC および PMMA に関してはひずみが50%に達しても破壊に至らず U_A を求めることはできなかった。

曲げ破壊に至るまでの全エネルギー (U_T) は第10図の曲げ荷重—ひずみ曲線の積分により求めることができる。曲げ破壊に際しては第9図に示す試片が破断により生成する新表面積を $25 \times 3 \text{ mm}^2 (A_0)$ と仮定すると単位断面生成エネルギー (U_A) は(4)式で求めることができる。

$$U_A = U_T / A_0 \quad (4)$$

このようにして求めた U_T および U_A は第4表に示す通りであるが、PVC および GFRP は曲げ荷重においては破断にまで至らず、 U_T, U_A は求めることができなかった。

剪断破壊による単位表面積当りの破壊エネルギーは第15図の剪断応力—ポッチ変位曲線を積分することにより求めることができる。このようにして求めた USPES, PVC および GFRP の単位表面積当りの破壊エネルギーを求め第5表に示した。

破断に際しての荷重形態としては、単位表面積生成エネルギー U_A が小さくなる形態が好ましいと考えられるので、第2表～第5表の引張、圧縮、曲げ、剪断荷重による U_A を比較したが、剪断荷重により破壊した場合、 U_A は最小となることが分った。しかしながら、引張、圧縮および曲げ破壊において変形を受ける容積を、破壊表面積に比較して小さくすることが出来るなら（例えば、引張破壊においては引張スパン間を小さくする）、

第5表 剪断破壊エネルギー

試料名	USPES	PVC	PMMA	GFRP
単位体積当りの剪断破壊エネルギー (kg-mm/mm ²) U_A 於いて $C=0.5 \text{ mm}$	1.18	3.30	—	5.61

単位表面積生成エネルギー U_A は小さく出来るが、現実の破砕操作においては、引張スパン間を小さくすることは困難である。引張荷重による破砕方法は具体的には存在せず、また、圧縮荷重による破砕方法は脆性体を破砕するには適しているが、合成樹脂等の延性破壊を起す材料の破砕にはエネルギー的に見て不利であり、また、材料によっては破断させることが不可能な場合もある。曲げ荷重は、引張と圧縮の組合さった荷重形態であるが、曲げにおける支点間距離が大きい場合、単位表面積生成エネルギー U_A は大きくなるが、支点間距離が短くなると荷重形態は剪断荷重に近くなる。樹脂別に見た場合、USPES のような比較的脆性体に近い物性を有する材料は圧縮荷重による破砕も可能と考えられるが、PVC や PMMA のような延性材料や、GFRP のように、内部破壊発生により大量のエネルギーを吸収する材料には圧縮荷重による破砕は困難であると考えられる。

5. 結 言

従来、破砕の研究は比較的脆性に近い材料を対象としたものが中心であり、破砕機もそれら材料を対象に開発されてきた。そのため、破砕機はジョークラッシャー、ジャイレトリクラッシャーやロールクラッシャー等の圧縮破砕機、ハンマークラッシャー等の衝撃破砕機が一般的であり、合成樹脂や GFRP 等のような比較的高延性材料の破砕にはこれら破砕機をそのまま利用することはエネルギー的に見て不適当である。

本報告においては破砕に際してエネルギー的に有利な破砕荷重の負荷形態を明らかにするために、比較的脆性破壊を起しやすい合成樹脂 (USPES)、延性破壊を起しやすい合成樹脂 (PVC)、その中間的性質を有する合成樹脂 (PMMA) および USPES をマトリックスとしガラス繊維を強化材とした GFRP の4種類の材料の変形と破壊およびその時に必要とされる破壊エネルギーに関して検討を行ったが次項が明確になった。

- (1) 合成樹脂間においては、比較的脆性破壊を起しやすい USPES の破壊エネルギーが一番小さい。
- (2) GFRP の破壊エネルギーはマトリックス、繊維の破断の他に、これら素材間の界面剥離等の内部破壊に要するエネルギーを含むために、マトリックス単体の破壊の場合に比較して非常に大きくなる。
- (3) 本報告における実験において引張、圧縮、曲げおよび剪断荷重による単位表面積当りの破壊エネルギーを比較した結果、剪断荷重による場合、このエネルギーは最小となることが分った。

現実の破壊操作においては、引張荷重による破砕方法は存在せず、また、圧縮荷重による破砕方法は脆性体を破砕するには適しているが、合成樹脂等の延性破壊を起

す材料の破砕には、大量のエネルギーを消費し、材料によっては破砕されない場合もある。曲げ荷重は、引張と圧縮荷重の複合と考えられるが、荷重載荷点と固定点の間隙が短い場合、剪断荷重に近い形態となり、破壊エネルギーも小さくなると考えられる。

以上の点から、破壊に際して、延性流動や、内部破壊を伴う合成樹脂および GFRP 等の破砕には剪断荷重が適していると考えられる。破砕機としては、脆性材には圧縮荷重もしくは剪断荷重を、延性材には剪断荷重を利用した機構が適している。

参 考 文 献

- 1) プラスチックス : 33, 6, 20 (1982)
- 2) 日本産業技術振興協会 : 資源再生利用技術システム研究開発委員会報告書 (1973)
- 3) プラスチックス処理促進協会 : 調査報告書および長期処理計画 (1973)
- 4) 林 毅 : 複合材料工学 (日科技連) p. 523 (1974)
- 5) 裕 伸夫, 川端季雄, 河合弘迪 : 材料16, 170, 910 (1967)
- 6) R. G. C. Arridge : Preliminary Copy (18th Annual Meeting of the reinforced Plastics. SPI Section 4-A)