

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-149134

(P2017-149134A)

(43) 公開日 平成29年8月31日(2017.8.31)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 3 2 B 5/02 (2006.01)	B 3 2 B 5/02 B	4 F 1 0 0
B 3 2 B 9/00 (2006.01)	B 3 2 B 9/00 A	
B 3 2 B 27/12 (2006.01)	B 3 2 B 27/12	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2016-234879 (P2016-234879)	(71) 出願人	500520743
(22) 出願日	平成28年12月2日 (2016.12.2)		ザ・ボーイング・カンパニー
(31) 優先権主張番号	62/264, 633		The Boeing Company
(32) 優先日	平成27年12月8日 (2015.12.8)		アメリカ合衆国、60606-2016
(33) 優先権主張国	米国 (US)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	15/007, 379	(71) 出願人	516363134
(32) 優先日	平成28年1月27日 (2016.1.27)		ジェネラル ナノ、エルエルシー
(33) 優先権主張国	米国 (US)		General Nano, LLC
(特許庁注：以下のものは登録商標)			アメリカ合衆国、オハイオ州 45212
1. KEVLAR			、シンシナティ、スイート170、メンター アベニュー 1776
			1776 Mentor Avenue,
			Suite 170, Cincinnati,
			Ohio 45212, U. S. A.
			最終頁に続く

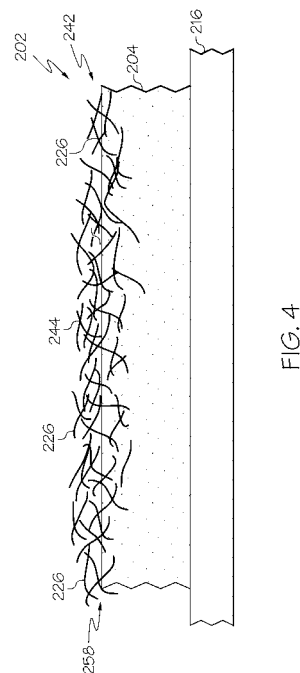
(54) 【発明の名称】 カーボンナノ材料複合シート及びその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】外板パネルなどの複合材コンポーネントを有する航空宇宙輸送体の、落雷から保護や外部の電磁干渉から関連するアビオニクス機器及び電子機器の遮蔽用カーボンナノ材料複合シートの製造方法の提供。

【解決手段】カーボンナノ材料構造体(242)の層と、多孔性の金属化不織材(226)を含むキャリア層(204)とを含んでなり、キャリア層がカーボンナノ材料構造体に接合されている、カーボンナノ材料複合シート(202)、及び、カーボンナノ材料複合シートを製造する方法。カーボンナノ材料構造体が、ランダムに配向され、均一に分散されたカーボンナノチューブ(CNT)の構造体である複合シート(202)。

【選択図】図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

a) カーボンナノ材料構造体の層と、

b) 多孔性の金属化不織材を含むキャリア層と、を含んでなり、前記キャリア層は、前記カーボンナノ材料構造体に接合されている、カーボンナノ材料複合シート。

【請求項 2】

前記キャリア層は、前記カーボンナノ材料構造体に永久的に接合されている、請求項 1 に記載の複合シート。

【請求項 3】

前記複合シートは積層体である、請求項 1 又は 2 に記載の複合シート。

10

【請求項 4】

前記カーボンナノ材料構造体は、ランダムに配向されるとともに均一に分散されたカーボンナノチューブ (CNT) の構造体である、請求項 1～3 のいずれかに記載の複合シート。

【請求項 5】

前記カーボンナノ材料構造体は、1 平方メートルあたり少なくとも 1 グラムの坪量のカーボンナノ材料を有する、請求項 1～4 のいずれかに記載の複合シート。

【請求項 6】

前記キャリア層は、ニッケル被覆繊維を含む、請求項 1～5 のいずれかに記載の複合シート。

20

【請求項 7】

前記 CNT は、単層 CNT (「SWCNT」) を含む、請求項 1～6 のいずれかに記載の複合シート。

【請求項 8】

前記 CNT は、多層 CNT (「MWCNT」) をさらに含む、請求項 1～7 のいずれかに記載の複合シート。

【請求項 9】

前記ナノ材料構造体を形成している前記カーボンナノ材料の少なくとも一部が、前記キャリア層の厚み方向に散在し、キャリア層に絡まることによって、前記カーボンナノ材料構造体が、前記キャリア層に永久的に接合されている、請求項 1～8 のいずれかに記載の複合シート。

30

【請求項 10】

前記カーボンナノ材料構造体は、カーボンナノチューブ、カーボンナノ粒子、カーボンナノスフィア、及び、グラフェンのうちの少なくとも 1 つを含む、請求項 1～9 のいずれかに記載の複合シート。

【請求項 11】

前記カーボンナノ材料構造体に結合された少なくとも 1 つのポリマー層又はポリマーカプセル化層をさらに含む、請求項 1～10 のいずれかに記載の複合シート。

【請求項 12】

前記カーボンナノ材料構造体に結合されたプリプレグ材をさらに含む、請求項 1～11 のいずれかに記載の複合シート。

40

【請求項 13】

キャリア層にカーボンナノ材料構造体の層を接合し、前記キャリア層は、多孔質の金属化不織材によって製造される、カーボンナノ材料複合シートの製造方法。

【請求項 14】

前記カーボンナノ材料構造体の層は、前記キャリア層に永久的に接合される、請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

さらに、剥離可能な保護フィルムを前記キャリア層に結合し、前記キャリア層は、前記保護フィルムと前記カーボンナノ材料構造体との間に位置する、請求項 13 又は 14 に記

50

載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、概して、複合材料に関し、より具体的には、カーボンナノ材料を含む多機能なカーボンナノ材料複合シートに関する。カーボンナノ材料は、例えば、多孔質のキャリア材に接合されたカーボンナノ材料構造体の形態を有する。本開示は、さらに、カーボンナノ材料複合シートを含む複合構造体、及び、その製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

航空宇宙輸送体の設計及び製造において、複合材料が使用される割合が増えつつある。例えば、複合材料は、航空機の機体や外板（例えば、胴体、翼など）を形成する複合パネルなど、航空宇宙用途における様々な一次構造及び二次構造の製造に用いられうる。複合材料を使用することによって、航空宇宙輸送体の様々なコンポーネントの強度を向上させ、重量を減らし、耐用年数を延ばすことができる。

【0003】

しかしながら、外板パネルなどの複合材コンポーネントを有する航空宇宙輸送体では、落雷から保護したり、外部の電磁干渉から関連するアビオニクス機器及び電子機器を遮蔽したりするために、追加の材料を加える必要が生じうる。このような追加の材料は、航空宇宙輸送体の重量を増すとともに、製造に要する時間及びコストも増大させるため、望ましくない。

【0004】

従って、当業者は、複合材料の分野において、研究開発努力を続けている。

【発明の概要】

【0005】

一実施例において、本開示のカーボンナノ材料複合シートは、カーボンナノ材料構造体の層と、多孔性の金属化不織材を含むキャリア層とを含んでなり、キャリア層は、カーボンナノ材料構造体に接合されている。

【0006】

一実施例において、本開示のカーボンナノ材料複合シートの製造方法は、キャリア層にカーボンナノ材料構造体の層を接合する工程を含み、キャリア層は、多孔質の金属化不織材によって製造される。

【0007】

一実施例において、本開示の複合構造体は、少なくとも1つの繊維強化ポリマー層と、カーボンナノ材料複合シートと、を含んでなり、カーボンナノ材料複合シートは、カーボンナノ材料構造体の層と、多孔質の金属化不織材を含むキャリア層と、を含み、キャリア層は、カーボンナノ材料構造体に接合されている。

【0008】

本開示の装置及び方法についての他の実施例は、以下の詳細な説明、添付図面、及び添付の特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】開示のカーボンナノ材料複合シートを製造するための開示の方法の一例を示すフローチャートである。

【図2】開示のカーボンナノ材料複合シートを製造するための開示のシステムの一例を示す概略図である。

【図3】開示のカーボンナノ材料複合シートの一例を示す概略ブロック図である。

【図4】開示のカーボンナノ材料複合シートの一例の一部を示す概略断面図である。

【図5】開示のカーボンナノ材料複合シートを製造するための開示のシステムの一例を示す概略図である。

10

20

30

40

50

【図 6】開示のカーボンナノ材料複合シートを含む開示の複合構造体の一例を示す概略ブロック図である。

【図 7】航空機の製造及び保守方法を示すブロック図である。

【図 8】航空機の概略図である。

【図 9】開示のカーボンナノ材料複合シートの一例の一部を示す概略断面図である。

【図 10】開示のカーボンナノ材料複合シートの様々な例のシールド効果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下の詳細な説明は、添付図面を参照しており、これらの添付図面は、本開示の具体的な実施例を示すものである。これらとは異なる構造及び工程を有する他の実施例も、本開示の範囲を逸脱するものではない。同じ部分、要素、又はコンポーネントは、様々な図面において、同様の参照数字で示している。

【0011】

上述の図 3 及び図 8 において、様々な要素及び／又はコンポーネントを繋ぐ実線は、例えば、機械的結合、電氣的結合、流体的結合、光学的結合、電磁氣的結合、その他の結合、及び／又は、それらの組み合わせを表す。本明細書において、「結合」とは、直接的又は間接的に関連付けられていることを意味する。例えば、部材 A は、部材 B と直接的に関連付けられていてもよいし、例えば別の部材 C を介して間接的に関連付けられていてもよい。なお、開示した様々な要素間の関係が必ずしもすべて示してあるとは限らない。従って、ブロック図に示した以外の結合も存在しうる。様々な要素やコンポーネントを表すブロックを繋ぐ破線がある場合、これらは、機能及び目的の面で、実線で表したものに類似する結合を表す場合がある。ただし、破線で表した結合は、選択的に設けられるか、あるいは、本開示の代替的な実施例に関するものである。同様に、破線で表した要素及び／又はコンポーネントがある場合、これらは、本開示の代替的な実施例に関するものである。実線や破線で示した 1 つ又は複数の要素を、本開示の範囲から逸脱することなく、ある特定の例から省くこともできる。外部要素がある場合は、点線で表している。仮想の（想像上の）要素も、明確にするために図示している場合がある。当業者であればわかるように、図 3 及び図 8 に示した構成要素のいくつかは、図 3 及び図 8、その他の図面、及び／又は、付随する開示に記載された他の構成要素を含むことなく様々な方法で組み合わせることが、そのような組み合わせが本明細書に明示されていなくとも可能である。同様に、提示の実施例に限定されない追加の要素を、本明細書で図示および説明した要素のいくつか又はすべてと組み合わせることもできる。

【0012】

上記の図 1 及び図 7 において、ブロックは、工程及び／又はその一部を示す場合があり、様々なブロックを繋ぐ線は、それらの工程またはその一部の何らかの特定の順序または従属関係を暗示するものではない。破線で示したブロックは、代替の工程及び／又はその一部を示す。ブロックを繋ぐ破線がある場合、これらは、工程またはその一部の代替的な従属関係を示す。なお、開示の様々な処理間の従属関係が必ずしもすべて示してあるとは限らない。図 1 及び図 7 ならびに本明細書に記載の方法の工程を説明する付随の開示は、これらの工程が行われる順序を必ず決定するものと解釈されるべきではない。むしろ、1 つの例示的な順序を示してはいるが、工程の順序は適宜変更可能であると理解すべきである。したがって、いくつかの工程を、異なる順序で行ったり、同時に行ったりすることが可能である。また、当業者であればわかるように、記載した工程の必ずしもすべてを行う必要はない。

【0013】

特に明記しない限り、本明細書における「第 1」、「第 2」等の用語は、単に標識として用いられており、これらの用語で言及している要素に対して、順序、位置、又は階層的な要件を課すものではない。また、「第 2」のアイテムについて言及することによって、より小さい序数のアイテム（例えば、「第 1」のアイテム）、及び／又は、より大きい序

10

20

30

40

50

数のアイテム（例えば、「第 3」のアイテム）の存在を要件としたり、排除したりするものではない。

【0014】

本明細書において、「少なくとも1つの」という語句がアイテムのリストについて用いられる時は、リストアップされたアイテムの1つ又はそれ以上の様々な組み合わせを使用してもよいということであり、リストのアイテムの1つだけを必要とする場合もあることを意味する。アイテムは、ある特定の対象、物、又はカテゴリーであってもよい。すなわち、「少なくとも1つの」とは、あらゆる組み合わせのアイテム及びあらゆる数のアイテムをリストから使用してもよいが、リスト上の全てのアイテムを必要とするわけではないということの意味する。例えば、「アイテム A、アイテム B、及びアイテム C のうちの少なくとも1つ」は、アイテム A；アイテム A とアイテム B；アイテム B；アイテム A とアイテム B とアイテム C；又は、アイテム B とアイテム C、を意味する場合がある。場合によっては、「アイテム A、アイテム B、及びアイテム C のうちの少なくとも1つ」は、例えば、限定するものではないが、2 個のアイテム A と、1 個のアイテム B と、10 個のアイテム C；4 個のアイテム B と 7 個のアイテム C；又は、他の適当な組み合わせを意味する。

10

【0015】

本明細書において、「例」、「一例」、「別の例」又はこれらに類する表現を用いる際は、当該例に関連させて述べる 1 つ又は複数の部分、構造、要素、コンポーネント、又は特徴が、少なくとも 1 つの実施形態又は実施態様に含まれることを意味する。従って、本開示全体にわたって、「一例において」「一例として」というフレーズ及びこれらに類する表現は、同じ例のことを指す場合もあるが、必ずしも同じ例とは限らない。また、任意の 1 つの例を特徴付ける要旨は、任意の他の例を特徴付ける要旨を含む場合もあるが、必ずしも含むとは限らない。

20

【0016】

本開示による要旨の例示的且つ非排他的な実施例を、特許請求の範囲に記載したものや、場合によっては記載されていないものも含め、以下に提示する。

【0017】

図 1 を参照すると、同図には、方法 100 の一例が開示されている。方法 100 は、多機能なカーボンナノ材料複合シート 202 を製造するための開示の方法の一実施形態である。図 2 に示すように、システム 200 は、例えば方法 100 によって、カーボンナノ材料複合シート 202 を製造するための開示のシステムの一実施形態である。本開示の範囲から逸脱することなく、方法 100 に対して改変、追加、または省略を行うことが可能である。方法 100 の工程を増やしたり、減らしたり、他の工程を含めたりすることが可能である。また、工程は、任意の適当な順序で行うことができる。

30

【0018】

図 1 を参照し、さらに図 3 を参照すると、一例において、方法 100 は、ブロック 122 に示すように、キャリア層 204 にカーボンナノ材料構造体 242 の層 258（例えば 1 つ又は複数の層）を接合する工程を含む。一例において、キャリア層 204 は、多孔質の金属化不織材によって製造される。一例において、カーボンナノ材料構造体 242 の層 258 は、キャリア層 204 に永久的に接合される。

40

【0019】

一例において、方法 100 は、ブロック 124 に示すように、キャリア層 204 に剥離可能な保護フィルム 216 を結合する工程を含む。一例において、図 4 に示すように、キャリア層 204 は、保護フィルム 216 とカーボンナノ材料構造体 242（例えば、カーボンナノ材料構造体 242 の層 258）との間に位置する。

【0020】

図 1 を参照し、さらに図 3 を参照すると、一実施形態において、方法 100 は、ブロック 102 に示すように、キャリア層 204 を用意する工程を含む。一般的には、キャリア層 204 は、カーボンナノ材料 226 を堆積して、キャリア層 204 の表面上にカーボン

50

ナノ材料構造体 242 を形成（例えば積層及び／又は接合）することが可能な任意の材料を含む。キャリア層 204 を、キャリア材、材料層、フィルター層、又はフィルタリング層と称する場合もある。1 つの一般的な例として、キャリア層 204 は、カーボンナノ材料 226（例えば、カーボンナノ材料 226 のスラリー 238）を濾過することができる任意の多孔質材料を含む。多孔質材料は、穿孔フィルムもしくは多孔質フィルム、シート、ベール、又はファブリック材（例えば、スラリー 238 を濾過する複数の孔または開口を有する材料）を含みうる。キャリア層 204 は、用途や所望する特性に応じて、導電性又は非導電性のものとされる。非限定的な例として、ナイロン、ポリエステル、PEEK、PEKK、ガラス繊維、炭素繊維、金属化ポリマー、又は、金属メッシュ／金属箔（例えばエキスパンド銅箔）などの織材、または、不織材（例えば湿式不織布もしくはメルトスパン（melt spun）不織布）が含まれる。

10

【0021】

図 3 を参照すると、一例において、カーボンナノ材料複合シート 202 は、カーボンナノ材料構造体 242 の層 258、及び、キャリア層 204 を含む。一例において、キャリア層 204 は、多孔質の金属化不織材を含む。一例において、キャリア層 204 は、カーボンナノ材料構造体 242 に接合されている。

【0022】

図 3 を参照すると、一例として、カーボンナノ材料複合シート 202 は、積層体である。一例として、カーボンナノ材料複合シート 202 は、連続するシートである。一例として、キャリア層 204 は、カーボンナノ材料構造体 242（例えば、カーボンナノ材料構造体 242 の層 258）に、永久的に接合されている。一例として、カーボンナノ材料構造体 242 は、ランダムに配向されるとともに均一に分散されたカーボンナノチューブ（「CNT」）228 の構造体を含む。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料構造体 242 は、1 平方メートルあたり約 1 グラムの坪量のカーボンナノ材料 226 を有する。非限定的な別の具体例として、カーボンナノ材料構造体 242 は、1 平方メートルあたり少なくとも 1 グラムの坪量のカーボンナノ材料 226 を有する。一例において、カーボンナノ材料複合シート 202 は、カーボンナノ材料構造体 242 に結合された少なくとも 1 つのポリマー層 262 を含む。別の例において、カーボンナノ材料複合シート 202 は、カーボンナノ材料構造体 242 に結合された少なくとも 1 つのポリマーカプセル化層 264 を含む。一例として、カーボンナノ材料複合シート 202 は、カーボンナノ材料構造体 242 に結合されたプリプレグ材 266 を含む。

20

30

【0023】

図 2 を参照し、さらに図 3 を参照すると、一実施形態において、図 2 に示すように、キャリア層 204 は、連続するシート状のキャリア層 204（本明細書では概括的にシート 206 と称する）として用意される（あるいはそのような形態をとる）。ここで、「連続する」とは、幅よりも長さが何桁か大きい長状のシートを意味する。概して、シート 206 は、連続する布；ファブリック；ベール；不織のシート、プライもしくはマット；織材状のシート、プライもしくはマット；等であってもよいし、これらを含んでもよい。キャリア層 204 は、多孔質でありうる。キャリア層 204 は、導電性又は非導電性でありうる。図 2 に示すように、一例として、システム 200 は、キャリア層 204 のロール（本明細書において、概括的にロール 208 と称する）を含む。例えば、連続するシート 206 を製造し、これを巻き取ってロール 208 にしてもよい。

40

【0024】

図 3 を参照し、さらに図 2 及び図 4 を参照すると、一般的な非限定的一例として、キャリア層 204 は、導電性材料によって形成された多孔質の不織のベール、シート、プライ、又はマット（またはそのような形態をとるもの）である。一般的な一例として、キャリア層 204 は、薄い不織のシート、プライ、又はマットが形成されるように相互につながり合ったループ状の繊維 260 を含むものであってよい。非限定的な一具体例として、キャリア層 204（例えば導電性キャリア材）は、炭素繊維ベール 210 である（又はそのような形態をとる）。従って、この場合、シート 206（図 2）は、炭素繊維ベール 21

50

0の連続するシートである。炭素繊維ベール210は、炭素繊維212（例えば、炭素繊維の複数の連続するストランド）を含み、これらがループとなって、ランダムにつながり合って、炭素繊維212の薄い不織のシート、プライ、又はマットを形成する。炭素繊維ベール210は、多孔質でありうる。また、炭素繊維ベール210は、導電性でもありうる。実施形態によっては、炭素繊維212を、軽量のバインダー（binder）（明確に図示せず）によって、まとめて保持してもよい。

【0025】

別の一般的な非限定的一例として、キャリア層204は、非導電性材料によって形成された多孔質の不織のベール、シート、プライ、又はマット（またはそのような形態をとるもの）である。非限定的な具体例として、キャリア層204（例えば非導電性キャリア層）は、ガラス繊維（例えば、Eガラス、Sガラス）、アラミド繊維（例えばケブラー（Kevlar））、フルオロポリマー繊維（例えば、超高分子量ポリエチレン：Ultra High Molecular Weight Polyethylene、高密度ポリエチレン：High Density Polyethylene、テフロン（登録商標）など）、又はそれらの組み合わせによって形成された、多孔質の不織のベール、シート、プライ、又はマット（またはそのような形態をとるもの）である。

【0026】

別の一般的な非限定的一例として、キャリア層204は、誘電材料によって形成された多孔質の不織のベール、シート、プライ、又はマット（例えば誘電性ベール）（明確に図示せず）（又はそのような形態をとるもの）である。非限定的な具体例として、キャリア層204（例えば誘電キャリア材）は、超高分子量ポリエチレン（「UHMWPE」）、フルオロポリマー、ポリイミド、又はそれらの組み合わせを含むが、これらに限定されない。

【0027】

キャリア層204に用いられる材料は、限定するものではないが、電磁干渉（EMI）シールド、落雷防護、周辺保護、周辺隔離、耐引っかかり性など、開示のカーボンナノ材料複合シート202固有の用途や機能に、少なくとも部分的に依存する。一例として、例えば、落雷防護や低周波シールド効果を目的として、導電性の高いカーボンナノ材料複合シート202を所望するあるいは必要とする場合、例えば炭素繊維212（例えば炭素繊維ベール210）などの導電性材料によってキャリア層204を形成すればよい。別の例として、導電性の低いカーボンナノ材料複合シート202を所望するあるいは必要とする場合、例えばガラス、アラミド、及び／又は、フルオロポリマー繊維などの非導電性材料によって、キャリア層204を形成すればよい。

【0028】

図3を参照すると、一例において、キャリア層204は、ニッケル被覆繊維（ニッケルコーティング214によって被覆された繊維260）を含む。このように、一例において、キャリア層204は、金属コーティング254を含む。金属コーティング254を含むキャリア層204を、金属被覆キャリア層、金属化キャリア層、金属被覆キャリア材、金属化キャリア材、金属被覆材料層、金属化材料層、金属被覆フィルター層、金属化フィルター層、金属被覆フィルタリング層、金属化フィルタリング層、金属被覆繊維層、又は、金属化繊維層と称する場合もある。非限定的な一具体例として、金属コーティング254は、ニッケルコーティング214である。ニッケルコーティング214を含むキャリア層204を、ニッケル（Ni）被覆キャリア層、ニッケル（Ni）金属化キャリア層、ニッケル被覆キャリア材、ニッケル金属化キャリア材、ニッケル被覆材料層、ニッケル金属化材料層、ニッケル被覆フィルター層、ニッケル金属化フィルター層、ニッケル被覆フィルタリング層、ニッケル金属化フィルタリング層、ニッケル被覆繊維層、又は、ニッケル金属化繊維層と称する場合もある。

【0029】

ニッケル以外の金属を、金属コーティング254として用いてもよい。金属コーティング254に用いられる金属は、例えば、所望のシールド効果に基づいて選択することができる。

【0030】

図1及び図3を参照すると、一実施形態において、方法100は、ブロック118（図1）に示すように、キャリア層204に金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を付着させる工程を含む。金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）は、既知の様々なプロセス又は手法によって、キャリア層204に付着させることができる。一実施形態においては、化学蒸着プロセスによって、ニッケル（ニッケルコーティング214）をキャリア層204に付着させる。別の実施形態においては、無電解ニッケルめっきプロセスによって、ニッケルをキャリア層204に付着させる。さらに別の実施形態においては、ニッケル電気めっきプロセスによって、ニッケルをキャリア層204に付着させる。

10

【0031】

一例として、炭素繊維バール210が、金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を含む。金属コーティング254を含む炭素繊維バール210を、金属被覆炭素繊維バール又は金属化炭素繊維バールと称する場合もある。一例として、炭素繊維バール210にニッケルを付着させることによって、ニッケル被覆炭素繊維バールが形成される。ニッケルコーティング214を含む炭素繊維バール210を、ニッケル被覆炭素繊維バール又はニッケル金属化炭素繊維バールと称する場合もある。金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）は、既知の様々なプロセス又は手法によって、炭素繊維バール210に付着させることができる。例として、化学蒸着プロセス、無電解ニッケルめっきプロセス、又は、ニッケル電気めっきプロセスによって、ニッケル（ニッケルコーティング214）を、炭素繊維バール210に付着させることができる。

20

【0032】

一例として、繊維260が、金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を含む。一例として、金属（例えばニッケル）を、個々の繊維260に付着させることによって、金属（例えばニッケル）被覆繊維が形成される。ニッケル被覆繊維を用いて、繊維のバール、シート、プライ、又はマット（例えば、ニッケル被覆バール、シート、プライ、又はマット）が形成される。別の例として、炭素繊維212が、金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を含む。一例として、金属（例えばニッケル）を、個々の炭素繊維212に付着させることによって、金属（例えばニッケル）被覆炭素繊維が形成される。ニッケル被覆炭素繊維を用いて、炭素繊維バール210（例えばニッケル被覆炭素繊維バール）が形成される。金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）は、既知の様々なプロセス又は手法によって、繊維260又は炭素繊維212に付着させることができる。例として、化学蒸着プロセス、無電解ニッケルめっきプロセス、又は、ニッケル電気めっきプロセスによって、ニッケルを、繊維260又は炭素繊維212に付着させることができる。

30

【0033】

一例として、非導電性キャリア材又は誘電キャリア材（例えば、非導電性材料又は誘電材料によって形成されたキャリア層204）が、金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を含む。非導電性キャリア材又は誘電キャリア材に金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を付着させることによって、導電性のキャリア層204が提供あるいは実質的に形成される。例えば、金属（例えばニッケル）を、非導電性キャリア材又は誘電キャリア材に付着させることによって、金属被覆（例えばニッケル被覆）キャリア材が形成される。金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）は、既知の様々なプロセス又は手法によって、非導電性キャリア材又は誘電キャリア材に付着させることができる。例として、化学蒸着プロセス、無電解ニッケルめっきプロセス、又は、ニッケル電気めっきプロセスによって、ニッケルを、非導電性キャリア材又は誘電キャリア材に付着させることができる。

40

【0034】

図2を参照すると、一例において、システム200は、1つ又は複数の第1ローラー224を含む。第1ローラー224は、例えば、キャリア層204（例えば炭素繊維バール

50

210)のシート206を、ロール208から引き出して、処理経路に沿ってキャリア層204を誘導又はガイドするように構成されたガイドローラー、ニップローラー、ピンチローラー等である。

【0035】

図1を参照し、さらに図2及び図3を参照すると、一実施形態において、方法100は、ブロック104に示すように、カーボンナノ材料226を用意する工程を含む。カーボンナノ材料226は、様々な形態をとりうる。図3に示すように、一般的な非限定的一例として、カーボンナノ材料226は、様々な形状を有するカーボンナノ粒子232である（又はその形態をとる）。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料226は、カーボンナノチューブ228である（又はその形態をとる）。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料226は、カーボンナノスフィア（nanosphere）230である（又はその形態をとる）。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料226は、グラフェン（graphene）234である（又はその形態をとる）。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料226は、カーボンナノ粒子232、カーボンナノチューブ228、カーボンナノスフィア230、及び／又は、グラフェン234のうちの少なくとも1つ、又はそれらの組み合わせである。カーボンナノ材料226は、他の様々な炭素の同素体も含みうる。

10

【0036】

既知の様々な化学プロセスを用いて、カーボンナノ材料226を形成することができる。例えば、既知の手法によって製造された様々なタイプのカーボンナノチューブ228を、カーボンナノ材料226として使用することができる。一実施形態において、カーボンナノチューブ228を、ステンレス鋼シート上で成長形成させるようにしてもよい。次に、成長形成させたカーボンナノチューブ228を、シートから削り取る。

20

【0037】

一例として、カーボンナノチューブ228は、単層カーボンナノチューブ（「SWCNT」）である。別の例として、カーボンナノチューブ228は、多層カーボンナノチューブ（「MWCNT」）である。別の例として、カーボンナノチューブ228は、プレストレスをかけた（prestressed）多層カーボンナノチューブ（「PSMWCNT」）である。さらに別の例として、カーボンナノチューブ228は、SWCNT、MWCNT、及び／又は、PSMWCNTの組み合わせである。PSMWCNTは、既知の手法で形成することができる。一例として、PSMWCNTは、MWCNTを爆発室（bomb chamber）に入れ、爆発によって圧力を急激に上昇させて、MWCNTの層をファンデルワールス力が作用する距離内まで圧縮することによって、形成することができる。一例として、PSMWCNTは、MWCNTを放射線に曝露して昇圧することによって形成される。非限定的な一具体例において、PSMWCNTは、（例えば従来のMWCNTの約0.34 nmとは異なり）約0.22 nmから約0.28 nmの範囲の層間隔を有する。PSMWCNTによってもたらされる利点の1つとして、層間剪断強度が高まり、ひいては、通常のMWCNTに比べて負荷伝達性が向上することがある。これによって、通常のカーボンナノチューブ（「CNT」）よりも約20%高い軸方向引っ張り強度及びヤング率がもたらされる。

30

【0038】

図1を参照し、さらに図2を参照すると、一実施形態において、方法100は、ブロック106に示すように、カーボンナノ材料226と液体236とを混合して、カーボンナノ材料226と液体236とのスラリー（本明細書では概括的にスラリー238と称する）（例えば、流体混合物、または、カーボンナノ材料226を液体236中に懸濁させた懸濁液）を形成する工程を含む。液体236は、カーボンナノ材料226を分散又は懸濁させることができる任意の適当な分散性の液体又は搬送流体材料であってよい。一般的には、液体236は、カーボンナノ材料226に対して非反応性である。（例えば、カーボンナノ材料226は、液体238に対して不溶性である。）非限定的な一具体例として、液体236は、水である。別の非限定的な一具体例として、液体236は、有機溶剤である。別の非限定的な一具体例として、液体236は、酸である。別の非限定的な一具体例

40

50

として、液体 2 3 6 は、樹脂（例えば熱可塑性樹脂又はエポキシ樹脂）である。適当な分散性の液体（例えば液体 2 3 6）の他の例も想定される。液体 2 3 6 は、液体 2 3 6 内でのカーボンナノ材料 2 2 6 の分散及び懸濁を促進したり安定化させたりするための 1 つ又は複数の化合物を、さらに含んでもよい。

【0039】

図 1 を参照し、さらに図 2 及び図 3 を参照すると、一実施形態において、方法 1 0 0 は、ブロック 1 0 8 に示すように、カーボンナノ材料 2 2 6 と液体 2 3 6 とのスラリー 2 3 8 を、キャリア層 2 0 4 上に堆積する（例えば吐出する）工程を含む。方法 1 0 0 は、ブロック 1 1 0 に示すように、キャリア層 2 0 4 によってカーボンナノ材料 2 2 6 を濾集する工程を含む。方法 1 0 0 は、ブロック 1 1 2 に示すように、キャリア層 2 0 4 の表面上にカーボンナノ材料構造体 2 4 2（図 3）を形成する（例えば積層させる）工程を含む。カーボンナノ材料構造体 2 4 2 がキャリア層 2 0 4 に接合された（例えばキャリア層上に結合形成された）結合体を、本明細書では、カーボンナノ材料前駆体複合シート 2 4 6 と称するとともに、図 2 に示す。

【0040】

図 2 を参照し、さらに図 3 を参照すると、一例において、システム 2 0 0 は、成形テーブル 2 4 0 を含む。カーボンナノ材料構造体 2 4 2（図 3）を積層させるためのカーボンナノ材料 2 2 6 とキャリア層 2 0 4 との相互作用は、成形テーブル 2 4 0 上で起こる。一実施形態において、成形テーブル 2 4 0 は、スラリー 2 3 8 を（例えば、注ぐ、噴霧する、などして）キャリア層 2 0 4 上に吐出する際にキャリア層 2 0 4 を支持できるワイヤーのメッシュ又はスクリーンを含む。キャリア層 2 0 4 上にスラリー 2 3 8 をのせる（例えば注ぐ）と、スラリー 2 3 8 は、キャリア層 2 0 4 の表面上に広がる。液体 2 3 6 がキャリア層 2 0 4 を通過し、カーボンナノ材料 2 2 6 がキャリア層 2 0 4 によって（例えばキャリア層 2 0 4 の表面上や、少なくとも部分的に表面より下に）濾集される（例えば、より分けられて保持される）ことによって、カーボンナノ材料構造体 2 4 2 が形成される。一実施形態において、キャリア層 2 0 4 は、コンベヤー（例えばコンベヤーベルト）（明確に図示せず）によって支持され、当該コンベヤーがキャリア層 2 0 4 を処理経路に沿って搬送する。コンベヤーは、スラリー 2 3 8 をキャリア層 2 0 4 上に吐出してキャリア層によって濾過する際に、キャリア層 2 0 4 を平面内に支持することができるワイヤーのメッシュ又はスクリーンであってもよい。一例において、システム 2 0 0（例えば成形テーブル 2 4 0）は、キャリア層 2 0 4 の上方（例えば上面）からキャリア層 2 0 4 を介してスラリー 2 3 8 を吸引することができる真空圧を供給する一方で、カーボンナノ材料 2 2 6 がキャリア層 2 0 4 の表面に絡まってキャリア層内に定着する（例えば少なくとも部分的に分散する）のを許容するように構成された真空領域を含んでもよい。カーボンナノ材料 2 2 6 は、濾過工程（ブロック 1 1 0）の後、キャリア層 2 0 4 上にランダムに配向されるとともに、均一に分散されている。

【0041】

図 3 及び図 4 を参照し、さらに図 1 及び図 2 を参照すると、一例において、カーボンナノ材料 2 2 6 の少なくとも一部が、キャリア層 2 0 4 の厚みにわたって散在し、キャリア層 2 0 4 に絡まることによって、カーボンナノ材料構造体 2 4 2 は、図 4 に示すように、キャリア層 2 0 4 に永久的に接合される。一実施形態において、スラリー 2 3 8（図 2）の堆積工程（ブロック 1 0 8）及び濾過工程（ブロック 1 1 0）（図 1）において、カーボンナノ材料 2 2 6 が、複数の方向に互いに絡まって、キャリア層 2 0 4 の表面上にカーボンナノ材料構造体 2 4 2（例えばカーボンナノ材料 2 2 6 の積層構造）を形成する（ブロック 1 1 2）。従って、カーボンナノ材料構造体 2 4 2 は、カーボンナノ材料 2 2 6 の絡み合った網状組織を含むシート構造体である。（例えば、カーボンナノ粒子構造体は、カーボンナノ粒子 2 3 2 の絡み合った網状組織を含み、カーボンナノチューブ構造体は、カーボンナノチューブ 2 2 8 の絡み合った網状組織を含み、カーボンナノスフィア構造体は、カーボンナノスフィア 2 3 0 の絡み合った網状組織を含み、グラフェン構造体は、グラフェン 2 3 4 の絡み合った網状組織を含む。）カーボンナノ材料 2 2 6 は、キャリア層

204の表面に、ランダムに分散または配向されうる。あるいは、カーボンナノ材料226は、キャリア層204の表面に、均一に分散または配向されうる。

【0042】

非限定的な一具体的例として、キャリア層204（例えば、炭素繊維ベール、ニッケル被覆炭素繊維ベール等）は、例えば、コンベヤー上で、システム200の処理経路（明示せず）に沿って移動する。カーボンナノ材料226は、液体236とカーボンナノ材料226（例えば、カーボンナノチューブ228、カーボンナノスフィア230、カーボンナノ粒子232、グラフェン234）とのスラリー238として、キャリア層204上に供給される。キャリア層204（例えばコンベヤー）の移動速度は、スラリー238、ひいては、カーボンナノ材料226が、キャリア層204に均一に分散されるように、制御することができる。

10

【0043】

カーボンナノ材料構造体242を形成するために堆積させるカーボンナノ材料226の密度は、限定するものではないが、様々な要因に依存しうる。これらの要因の例としては、カーボンナノ材料226のサイズや形状、カーボンナノ材料226のタイプ、カーボンナノ材料構造体の用途（例えば、特定のRF周波数での所望の遮蔽効果又は減衰、落雷防護の所望レベル、所望の導電レベル、所望の表面抵抗、等）、カーボンナノ材料構造体242の所望厚み、カーボンナノ材料構造体242の所望重量等がある。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料226は、1平方メートルあたり約1グラムの坪量を有する。非限定的な一具体例として、カーボンナノ材料226は、約1.0未満の相対密度を有する。図1に示すように、吐出工程（ブロック108）及び濾過工程（ブロック110）は、カーボンナノ材料構造体242を積層させるために、必要に応じて繰り返してもよい。

20

【0044】

図4を参照すると、一例として、カーボンナノ材料226の絡まりは、カーボンナノ材料226同士の様々な交差箇所244で発生する。絡み合ったカーボンナノ材料226の網状組織においては、十分な量のカーボンナノ材料226によって十分な数の交差箇所244が形成されており、これによって、安定したカーボンナノ材料構造体242が実現される。

【0045】

カーボンナノ材料226のサイズは、カーボンナノ材料226（例えば、カーボンナノチューブ228、カーボンナノスフィア230、カーボンナノ粒子232、グラフェン234等）のタイプや形状に応じて、変化しうる。非限定的な一具体例として、カーボンナノチューブ228は、例えば、少なくとも2500:1の極めて高いアスペクト比（長さとの直径の比）を有する。例えば、カーボンナノチューブ228は、約0.5ミリメートルから約4ミリメートルの範囲の長さ、及び、約1ナノメートルから約50ナノメートルの範囲の直径を有する。カーボンナノ材料226の他の適当な寸法も、限定されことなく、想定される。

30

【0046】

カーボンナノ材料226はサイズが小さいため、カーボンナノ材料226の少なくとも一部は、キャリア層全体に分散し、キャリア層と一体化する。例えば、カーボンナノ材料226の少なくとも一部は、キャリア層204の厚み（例えば全厚み）（明確に特定せず）に入り込んで散在し、キャリア層204に絡まって一体化する。従って、カーボンナノ材料構造体242は、方法100（図1）の濾過工程（ブロック110）及び積層工程（ブロック112）の後には、キャリア層204に効果的に結合されている（例えば、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を形成している）。一例として、カーボンナノ材料226は、キャリア層204の表面に隣接する部分（例えば表面上又は表面付近）に集中している。一例として、カーボンナノ材料226は、その一部がキャリア層204の厚みにわたって散在し、キャリア層に絡まっている。一例として、カーボンナノ材料226は、その全体がキャリア層204の厚みにわたって散在し、キャリア層に絡まっている。

40

50

【0047】

図1を参照し、さらに図2を参照すると、一実施形態において、方法100は、ブロック114に示すように、カーボンナノ材料前駆体複合シート246に圧力及び熱の少なくとも一方を付与する（例えば、カーボンナノ材料構造体242とキャリア層204とが結合された結合体に、圧力及び熱の少なくとも一方を付与する）工程と、ブロック116に示すようにカーボンナノ材料構造体242とキャリア層204とを一体化させる工程と、ブロック120に示すようにカーボンナノ材料複合シート202を成形する工程とを含む。カーボンナノ材料前駆体複合シート246（例えばカーボンナノ材料構造体242及びキャリア層204）に圧力及び熱のうちの少なくとも一方を付与する工程を、積層（laminating）と称する場合もある。一例として、熱を付与することは、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を乾燥させることを含む。例えば、キャリア層204及び／又はカーボンナノ材料構造体242に残留する液体236を乾燥（例えば蒸発）させるのに十分な熱を、カーボンナノ材料前駆体複合シート246に付与する。一般的な非限定的一例として、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を、約200°Fと約300°Fとの間（例えば、220°F）まで加熱することによって液体236を除去し、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を乾燥させ、カーボンナノ材料複合シート202を成形する。一例として、圧力を付与することは、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を圧縮することを含む。例えば、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を圧縮してカーボンナノ材料複合シート202を形成するのに十分な圧力を、カーボンナノ材料前駆体複合シート246に付与する。一般的な非限定的一例として、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を、約8ミルの厚みから圧縮して、約6ミル（例えば6.3ミル）の厚みを有するカーボンナノ材料複合シート202を成形する。熱、圧力、又はこれらの組み合わせを付与することによって、カーボンナノ材料構造体242とキャリア層204とを、さらに接合し、一体化することができる。カーボンナノ材料前駆体複合シート246に（例えばニップローラー250によって）付与される圧力及び／又は熱は、均一であり、このことは、均一且つ一体のカーボンナノ材料複合シート202を成形するのに役立つ。

【0048】

図2を参照し、さらに図1を参照すると、システム200は、（例えば熱を付与するための）1つ又は複数のドライヤー248、及び／又は、（例えば圧力、又は、圧力と熱を付与するための）1つ又は複数の第2ローラー250を含む。ドライヤー248は、処理経路に沿った、成形テーブル240よりも後方の、カーボンナノ材料前駆体複合シート246に隣接する（例えば近い）位置に配置されており、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を乾燥させて（例えば、カーボンナノ材料前駆体複合シート246に残留する液体236を除去して）、カーボンナノ材料複合シート202を形成するように構成されている。第2ローラー250は、例えば、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を引き出して、処理経路に沿って、誘導あるいはガイドするように構成されたガイドローラー、ニップローラー、ピンチローラー等である。第2ローラー250は、さらに、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を圧縮してカーボンナノ材料複合シート202を形成するように構成されている。第2ローラー250は、カーボンナノ材料前駆体複合シート246が第2ローラー250によって圧縮されている間、カーボンナノ材料前駆体複合シート246を昇温させて、例えばカーボンナノ材料前駆体複合シート246を乾燥させるように構成された、加熱ローラーであってもよい。図2及び図5には、例として、一対の対向する第2ローラー250のみを示しているが、当業者であればわかるように、複数対の第2ローラー250を処理経路に沿って配置して、複数の段階で徐々に（例えば約0.5ミルと約1.0ミルの間の量）圧縮してもよい。

【0049】

カーボンナノ材料前駆体複合シート246（例えば、カーボンナノ材料構造体242とキャリア層204とが結合された結合体）に圧力及び／又は熱を付与することによって、カーボンナノ材料226がキャリア層204内にさらに散在してキャリア層と一体化し、カーボンナノ材料構造体242とキャリア層204とが接合する（ブロック122）。

【0050】

圧力及び／又は熱を付与する工程（ブロック114）（図1）の後に、カーボンナノ材料複合シート202を巻いてカーボンナノ材料複合シート202のロールにする（本明細書では概括的にロール252と称する）。

【0051】

図5を参照し、さらに図4を参照すると、一実施形態において、キャリア層204は、保護フィルム216をさらに含みうる。保護フィルム216は、例えば、巻いてロール252にした際のカーボンナノ材料複合シート202を保護する。保護フィルム216は、例えば、複合構造体300（図6）を作成する際など、カーボンナノ材料複合シート202を個々の用途に使用する前に、カーボンナノ材料複合シート202から取り除く。保護フィルム216を、保護層又は剥離フィルムと称する場合もある。

10

【0052】

一例として、保護フィルム216は、保護フィルム216のシート（概括的に、本明細書ではシート222と称する）として用意される（又はその形態をとる）。非限定的な一具体例として、保護フィルム216は、ARMA LON（登録商標）ポリテトラフルオロエチレンガラス積層体などの、ポリテトラフルオロエチレンガラス材料によって形成される。

【0053】

一例として、システム200は、ロール（本明細書では概括的にロール220と称する）の状態に巻かれた保護フィルム216の連続シート222を含む。一例として、保護フィルム216は、キャリア層204（例えば炭素繊維ベール210）に剥離可能に結合される。

20

【0054】

第1ローラー224は、キャリア層204をロール208から引き出すとともに、保護フィルム216をロール220から引き出して、キャリア層204及び保護フィルム216を処理経路に沿って誘導又はガイドするように構成されている。第1ローラー224は、さらに、シート206とシート222とが密に接触するように圧縮するように構成されている。

【0055】

図9を参照すると、一例において、カーボンナノ材料複合シート202は、誘電層256を含む。誘電層256は、キャリア層204に結合されている。一例として、カーボンナノ材料226と液体236とのスラリー238を堆積する工程（ブロック108）より前に、誘電層256をキャリア層204に付着させる。図9に示すように、キャリア層204は、誘電層256とカーボンナノ材料構造体242との間に配置されている。一例として、キャリア層204に対して誘電層256を付着させるプロセスは、保護フィルム216の付着について上述したプロセスと同様に行われる。ただし、誘電層256は、キャリア層204から除去されない。一例において、カーボンナノ材料複合シート202は、キャリア層204に付着された誘電層256及び保護フィルム216を含む。例えば、保護フィルム216は、誘電層256に付着（剥離可能に結合）させてもよい。（例えば、誘電層256は、キャリア層204と保護フィルム216との間に配置される）。誘電層256は、多孔質であっても非多孔質であってもよい（例えば、多孔質材料によって形成してもよいし、非多孔質材料によって形成してもよい）。

30

40

【0056】

図6を参照すると、同図には、複合構造体300の一例が開示されている。一例において、複合構造体300は、少なくとも1つの繊維強化ポリマー層302及びカーボンナノ材料複合シート202を含む。カーボンナノ材料複合シート202は、カーボンナノ材料構造体242の層258、及び、キャリア層204を含む。キャリア層204は、多孔質の金属化不織材料を含む。キャリア層204は、カーボンナノ材料構造体242に接合されている。一例において、キャリア層204は、カーボンナノ材料構造体242に永久的に接合されている。一例において、カーボンナノ材料複合シート202は、積層体である

50

。一例において、カーボンナノ材料構造体 2 4 2 は、ランダムに配向されるとともに均一に分散されたカーボンナノチューブ 2 2 8（又は他のタイプのカーボンナノ材料 2 2 6）の構造体を含む。

【0057】

このように、一例において、複合構造体 3 0 0 は、複合積層体である。一例として、複合構造体 3 0 0 は、1 つ又は複数の繊維強化ポリマー層 3 0 2 を含む。（例えば、図 6 の例では、3 つの繊維強化ポリマー層 3 0 2 が示されている。）各繊維強化ポリマー層 3 0 2 は、ポリマーマトリックス（明確に図示せず）によって結着された強化繊維材（明確に図示せず）のシート、マット、又はプライを含みうる。繊維材は、任意の適当な連続する強化繊維又はフィラメントの繊維材、または、（例えば、編状(knit)、編組状(braided)、もしくは縫綴状(stitched)の)不織材を含みうる。ポリマーマトリックス材は、任意の適当な熱硬化性樹脂（例えばエポキシ樹脂）又は熱可塑性樹脂を含みうる。

10

【0058】

様々な既知のプロセス又は手法によって、繊維強化ポリマー層 3 0 2 を形成することができる。一例として、各繊維強化ポリマー層 3 0 2 は、ポリマーマトリックス材を予備含浸させた強化繊維材（例えばプリプレグ）のシートを含む。この手法は、ドライレイアップとしても知られている。一例として、各繊維強化ポリマー層 3 0 2 は、強化繊維材のシートを含んでおり、強化繊維材にポリマーマトリックス材を付着させている。この手法は、ウェットレイアップとしても知られている。

【0059】

複合構造体 3 0 0 は、少なくとも一層のカーボンナノ材料複合シート 2 0 2 も含む。様々な既知のプロセス又は手法によって、複合構造体 3 0 0 を形成することができる。一実施形態において、繊維強化ポリマー層 3 0 2 とカーボンナノ材料複合シート 2 0 2 とを、例えばモールド（明確に図示せず）内に、連続してレイアップする。繊維強化ポリマー層 3 0 2 とカーボンナノ材料複合シート 2 0 2 とを共硬化させて、複合構造体 3 0 0 を形成する。一例として、図 6 に示すように、カーボンナノ材料複合シート 2 0 2 は、複合レイアップの最外層である（例えば、複合構造体 3 0 0 の外面層を規定している）。一例として、カーボンナノ材料複合シート 2 0 2 は、複合レイアップの内側層である（例えば、複合構造体 3 0 0 の内側層を規定している）。

20

【0060】

複合構造体 3 0 0 は、任意の所望の三次元（3 D）形状を有する。3 D 形状は、複合構造体 3 0 0 の長さ寸法、幅寸法、高さ寸法、及び／又は断面寸法を含む様々な寸法を有する。非限定的な一具体例として、複合構造体 3 0 0 は、航空機の外板パネルである。

30

【0061】

このように、開示のカーボンナノ材料複合シート 2 0 2 は、複合構造体 3 0 0 を形成する製造プロセスに組み込むことができる。カーボンナノ材料複合シート 2 0 2 は、材料を追加しなくても、EMI に対する効果的なシールド及び効果的な落雷防護を、複合構造体 3 0 0 にもたらすことができる。

【0062】

カーボンナノ材料複合シート 2 0 2 を含む複合構造体 3 0 0 は、広帯域の EMI シールド効果を有しており、このことは、航空宇宙用途において特に有益である。各無線周波数（「RF」）帯域が、電子機器および航空電子機器にそれぞれ異なる影響を与えるためである。一例として、キャリア層 2 0 4（例えば炭素繊維ベール 2 1 0）及びカーボンナノ材料構造体 2 4 2 を含むカーボンナノ材料複合シート 2 0 2 は、中程度の周波数（約 1 0 0 M H z と約 1 G H z の間）及び高周波数（約 1 G H z より大きい）において、効果的な EMI シールドをもたらす。一例として、ニッケルコーティング 2 1 4 を有するキャリア層 2 0 4（例えばニッケル被覆炭素繊維ベール 2 1 0）及びカーボンナノ材料構造体 2 4 2 を含むカーボンナノ材料複合シート 2 0 2 は、低周波数（約 1 0 0 M H z 未満）、中程度の周波数（約 1 0 0 M H z と約 1 G H z との間）、及び、高周波数（約 1 G H z より大きい）において、効果的な EMI シールドをもたらす。

40

50

【0063】

キャリア層204に誘電材料を用いることや、キャリア層204に結合された誘電層256によって、その下にある複合構造体300を落雷から防護するバリアが形成される。この落雷防護では、例えば、落雷の際に雷電流を表面にとどめ、その下にある複合構造体300にエネルギーが到達して損傷を与える前にカーボンナノ材料複合シート202が当該エネルギーを導通消散させる。

【0064】

様々な例において、カーボンナノ材料複合シート202用を選択される材料は、特定の周波数又は周波数範囲に対して所望のEMIシールド効果（デシベル：dB）が得られるように選択される。一例として、（絡まったカーボンナノ材料226の網状組織によって形成された）カーボンナノ材料構造体242は、カーボンナノ材料複合シート202に、中程度の周波数及び高周波数における効果的なEMIシールドをもたらす。導電性のキャリア層204（例えば、導電性材料又は金属被覆材料によって形成されたキャリア層）は、カーボンナノ材料複合シート202に、低周波数における効果的なEMIシールドをもたらす。従って、金属コーティング254（例えばニッケルコーティング214）を有するキャリア層204（例えば炭素繊維ベール210）と、カーボンナノ材料構造体242とを含むカーボンナノ材料複合シート202は、低周波数、中程度の周波数、及び、高周波数について、効果的なEMIシールドをもたらす。金属コーティング254としてニッケルを使用すると、低周波数について、最も高いシールド性能または効果がもたらされ、有利である。

【0065】

いかなる特定の理論にも限定されるものではないが、キャリア層204の抵抗を低下させることは、導電率を上げることと同じであり、これによって、例えば特に低周波数についてのEMIシールド効果を高めることとなる。

【0066】

図10に示すように、様々な材料構成の複合シート202のEMIシールド効果が示されている。図10は、第1キャリア層204a、カーボンナノ材料構造体242、第1カーボンナノ材料複合シート202a、第2キャリア層204b、第2カーボンナノ材料複合シート202b、第3キャリア層204c、及び、第3カーボンナノ材料複合シート202cのシールド効果の例を示している。

【0067】

一例として、カーボンナノ材料構造体242は、カーボンナノ材料226の絡まった網状組織を含んでいる。カーボンナノ材料構造体242は、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約58dBから約62dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0068】

一例として、第1キャリア層204aは、導電性材料を含む。導電性材料は、導電性材料層、金属コーティング（例えばニッケルコーティング）を有する導電性材料層、又は、金属コーティングを有する非導電性材料層を含みうる。第1キャリア層204aは、約0.1オームの抵抗を有する。第1キャリア層204aは、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約58dBから約68dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0069】

一例として、第1カーボンナノ材料複合シート202aは、第1キャリア層204a及びカーボンナノ材料構造体242を含む。第1カーボンナノ材料複合シート202aは、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約61dBから約78dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0070】

一例として、第2キャリア層204bは、導電性材料を含む。導電性材料は、導電性材料層、金属コーティング（例えばニッケルコーティング）を有する導電性材料層、又は、

金属コーティングを有する非導電性材料層を含みうる。第2キャリア層204bは、約0.04オームの抵抗を有する。第2キャリア層204bは、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約65dBから約75dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0071】

一例として、第2カーボンナノ材料複合シート202bは、第2キャリア層204b及びカーボンナノ材料構造体242を含む。第2カーボンナノ材料複合シート202bは、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約67dBから約86dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0072】

一例として、第3キャリア層204cは、導電性材料を含む。導電性材料は、導電性材料層、金属コーティング（例えばニッケルコーティング）を有する導電性材料層、又は、金属コーティングを有する非導電性材料層を含みうる。第3キャリア層204cは、約0.02オームの抵抗を有する。第3キャリア層204cは、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約74dBから約78dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0073】

一例として、第3カーボンナノ材料複合シート202cは、第3キャリア層204c及びカーボンナノ材料構造体242を含む。第3カーボンナノ材料複合シート202cは、約100MHzから約1GHzまでの範囲の周波数に対して、約65dBから約97dBまでの範囲のシールド効果をもたらす。

【0074】

本明細書に開示したカーボンナノ材料複合シート202及び複合構造体300ならびにその製造方法の例を、図7に示す航空機の製造及び保守方法1100と、図8に示す航空機1200とに関連させて説明する。

【0075】

生産開始前の工程として、例示的な方法1100は、ブロック1102に示すように、航空機1200の仕様決定及び設計を含み、これには、カーボンナノ材料複合シート202を有する複合構造体300の設計が含まれる。そして、当該方法は、ブロック1104に示すように、材料調達も含む。生産中には、航空機1200の、ブロック1106に示す部品及び小組立品の製造及びブロック1108に示すシステムインテグレーションが行われる。本明細書で説明した、カーボンナノ材料複合シート202の作製及び複合構造体300におけるカーボンナノ材料複合シート202の使用は、生産、部品及び小組立品の製造工程（ブロック1106）の一部、及び／又は、システムインテグレーション（ブロック1108）の一部として、実現することができる。その後、航空機1200は、ブロック1110に示すように、認可及び納品を経て、ブロック1112に示すように、使用に入る。使用中は、航空機1200は、ブロック1114に示すように、定例の整備及び保守のスケジュールに組み込まれる。定例の整備および保守は、航空機1200の1つ又は複数のシステムの変更、再構成、改装なども含みうる。

【0076】

例示的な方法1100の各工程は、システムインテグレーター、第三者、及び／又はオペレーター（例えば顧客）によって実行または実施することができる。説明のために言及すると、システムインテグレーターは、航空機メーカー及び主要システム下請業者をいくつか含んでもよいが、これに限定されない。第三者は、売主、下請業者、供給業者をいくつか含んでもよいが、これに限定されない。オペレーターは、航空会社、リース会社、軍事団体、サービス組織等であってもよい。

【0077】

図8に示すように、例示的な方法1100によって製造される航空機1200は、例えばカーボンナノ材料複合シート202を含む複合外板パネルを有する機体1202、複数の高水準システム1204、及び、内装1206を含む。高水準システム1204の例と

10

20

30

40

50

しては、駆動系 1208、電気系 1210、油圧系 1212、環境系 1214 のうちの 1 つ又は複数が挙げられる。また、その他のシステムをいくつ含んでもよい。航空宇宙産業に用いた場合を例として説明したが、本開示の原理は、例えば自動車産業や船舶産業等などの他の産業に適用してもよい。

【0078】

本明細書において図示及び説明した装置及び方法は、製造及びサービス方法 1100 における 1 つ又は複数のどの段階において採用してもよい。例えば、部品及び小組立品製造工程（ブロック 1106）に対応する部品又は小組立品は、航空機 1200 の使用中（ブロック 1112）に製造される部品又は小組立品と同様の方法で製造されてもよい。また、装置、方法、又はこれらの組み合わせの 1 つ又は複数の実施例を、例えば、製造段階（ブロック 1108 及び 1110）で採用することによって、航空機 1200 の EMI シールドや落雷防護の効果を高めることができる。同様に、装置や方法の 1 つ又は複数の例、又はこれらの組み合わせを、例えば、限定するものではないが、航空機 1200 の使用中（ブロック 1112）に、また、整備及び保守の段階（ブロック 1114）で用いることもできる。

【0079】

また、本開示は、以下の付記による実施形態を含む。

【0080】

付記 1. a) カーボンナノ材料構造体の層と、

b) 多孔性の金属化不織材を含むキャリア層と、を含んでなり、前記キャリア層は、前記カーボンナノ材料構造体に接合されている、カーボンナノ材料複合シート。

【0081】

付記 2. 前記キャリア層は、前記カーボンナノ材料構造体に永久的に接合されている、付記 1 に記載の複合シート。

【0082】

付記 3. 前記複合シートは積層体である、付記 1 に記載の複合シート。

【0083】

付記 4. 前記カーボンナノ材料構造体は、ランダムに配向されるとともに均一に分散されたカーボンナノチューブ（CNT）の構造体である、付記 1 に記載の複合シート。

【0084】

付記 5. 前記カーボンナノ材料構造体は、1 平方メートルあたり少なくとも 1 グラムの坪量のカーボンナノ材料を有する、付記 1 に記載の複合シート。

【0085】

付記 6. 前記キャリア層は、ニッケル被覆繊維を含む、付記 1 に記載の複合シート。

【0086】

付記 7. 前記 CNT は、単層 CNT（「SWCNT」）を含む、付記 4 に記載の複合シート。

【0087】

付記 8. 前記 CNT は、多層 CNT（「MWCNT」）をさらに含む、付記 4 に記載の複合シート。

【0088】

付記 9. 前記カーボンナノ材料の少なくとも一部が、前記キャリア層の厚み方向に散在し、キャリア層に絡まることによって、前記カーボンナノ材料構造体が、前記キャリア層に永久的に接合されている、付記 1 に記載の複合シート。

【0089】

付記 10. 前記複合シートは、連続するシートである、付記 1 に記載の複合シート。

【0090】

付記 11. 前記カーボンナノ材料は、カーボンナノチューブ、カーボンナノ粒子、カーボンナノスフィア、及び、グラフェンのうちの少なくとも 1 つである、付記 1 に記載の複合シート。

【0091】

付記12. 前記カーボンナノ材料構造体に結合された少なくとも1つのポリマー層又はポリマーカプセル化層をさらに含む、付記1に記載の複合シート。

【0092】

付記13. 前記カーボンナノ材料構造体に結合されたプリプレグ材をさらに含む、付記1に記載の複合シート。

【0093】

付記14. キャリア層にカーボンナノ材料構造体の層を接合し、前記キャリア層は、多孔質の金属化不織材によって製造される、カーボンナノ材料複合シートの製造方法。

【0094】

付記15. 前記カーボンナノ材料構造体の層は、前記キャリア層に永久的に接合される、付記14に記載の方法。

【0095】

付記16. さらに、剥離可能な保護フィルムを前記キャリア層に結合し、前記キャリア層は、前記保護フィルムと前記カーボンナノ材料構造体との間に位置する、付記14に記載の方法。

【0096】

付記17. 少なくとも1つの繊維強化ポリマー層と、

カーボンナノ材料複合シートと、を含んでなり、前記カーボンナノ材料複合シートは、

a) カーボンナノ材料構造体の層と、

b) 多孔質の金属化不織材を含むキャリア層と、を含み、前記キャリア層は、前記カーボンナノ材料構造体に接着されている、複合構造体。

【0097】

付記18. 前記キャリア層は、前記カーボンナノ材料構造体に永久的に接合されている、付記17に記載の複合構造体。

【0098】

付記19. 前記複合シートは積層体である、付記17に記載の複合構造体。

【0099】

付記20. 前記カーボンナノ材料構造体は、ランダムに配向されるとともに均一に分散されたカーボンナノチューブ(CNT)の構造体である、付記17に記載の複合構造体。

【0100】

本開示のカーボンナノ材料積層体、複合構造体、及びその製造方法について様々な実施例を図示及び説明したが、当業者であれば、本明細書を読んで種々の変形を想定しうるであろう。本願は、そのような変形も包含するものであり、請求の範囲によってのみ限定される。

10

20

30

【図 1】

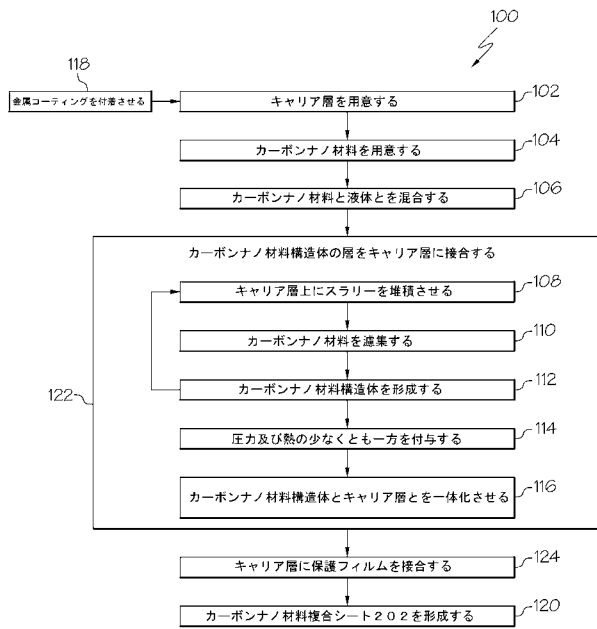


FIG. 1

【図 2】

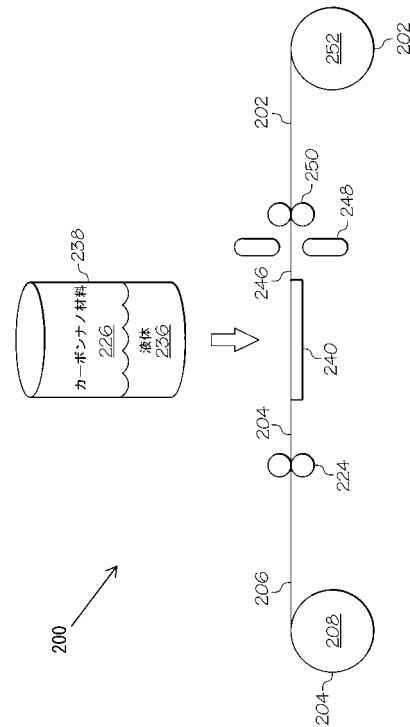


FIG. 2

【図 3】

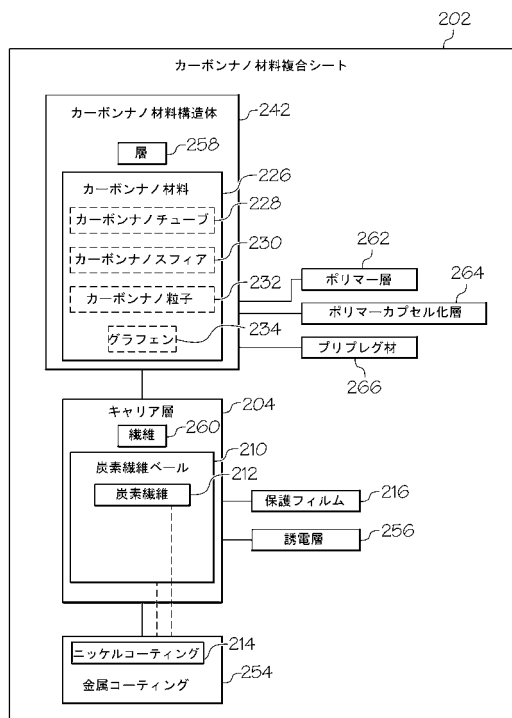


FIG. 3

【図 4】

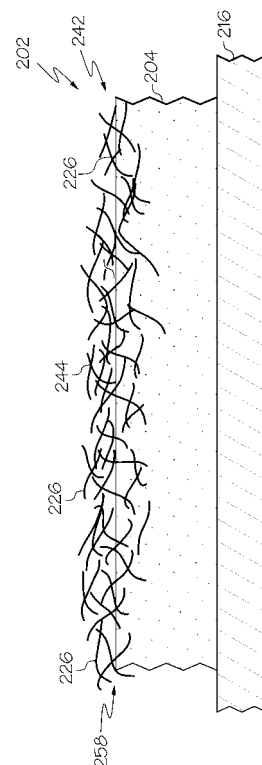
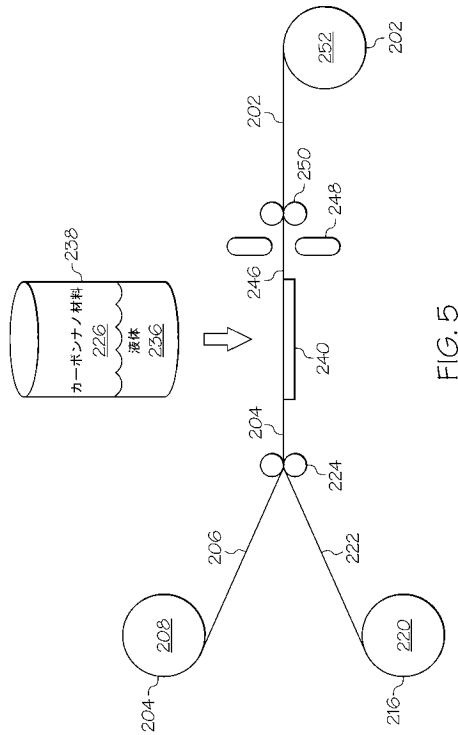


FIG. 4

【図 5】



【图 6】

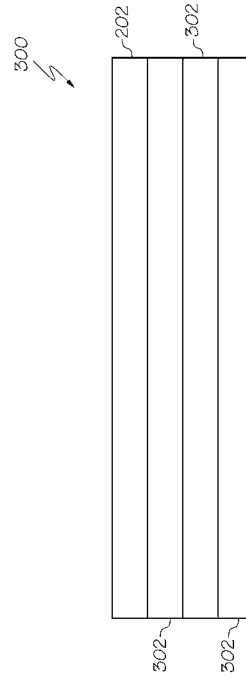


FIG. 6

【图 7】

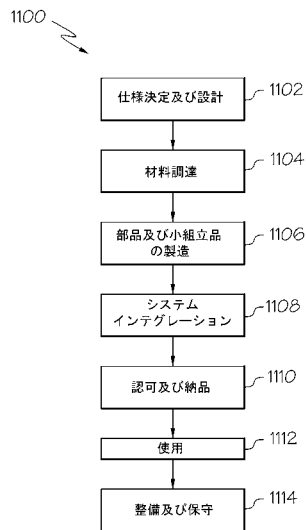


FIG. 7

【图 9】

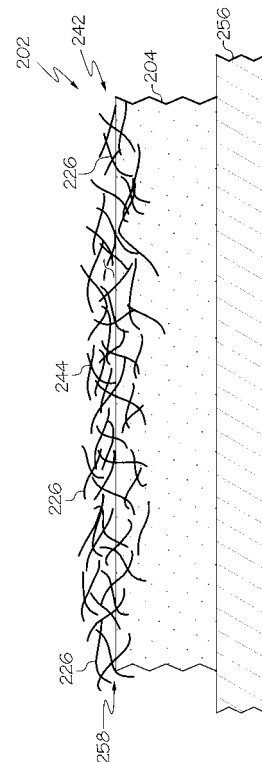


FIG. 9

【图 8】

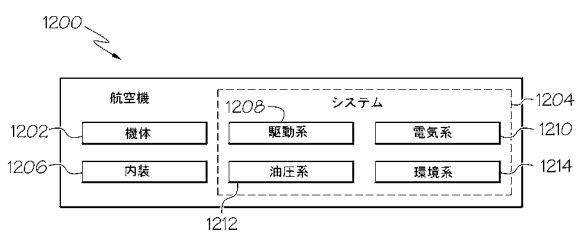


FIG. 8

【図 10】

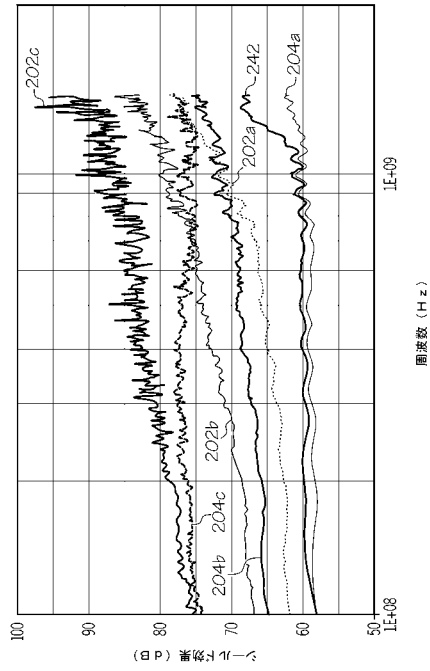


FIG. 10

フロントページの続き

- (74)代理人 100086380
弁理士 吉田 稔
- (74)代理人 100103078
弁理士 田中 達也
- (74)代理人 100130650
弁理士 鈴木 泰光
- (74)代理人 100135389
弁理士 白井 尚
- (74)代理人 100161274
弁理士 土居 史明
- (74)代理人 100168044
弁理士 小淵 景太
- (74)代理人 100168099
弁理士 鈴木 伸太郎
- (72)発明者 ダニエル ジェイ. ブレイリー
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92647、ハンティントン ビーチ、ボルザ アベニュー
5301、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ジョン エイチ. ベルク
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92647、ハンティントン ビーチ、ボルザ アベニュー
5301、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ジェイコブ アイ. パタット
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92647、ハンティントン ビーチ、ボルザ アベニュー
5301、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ジャスティン エム トルシェロ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92647、ハンティントン ビーチ、ボルザ アベニュー
5301、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ダニエル アール. フェリエル
アメリカ合衆国、カリフォルニア州 92647、ハンティントン ビーチ、ボルザ アベニュー
5301、ザ・ボーイング・カンパニー内
- (72)発明者 ジョセフ イー. シュプレングルト ジュニア
アメリカ合衆国、オハイオ州 45212、シンシナティ、スイート170、メンター アベニュー
1776、ジェネラル ナノ、エルエルシー内
- (72)発明者 ラリー クリスティ
アメリカ合衆国、オハイオ州 45212、シンシナティ、スイート170、メンター アベニュー
1776、ジェネラル ナノ、エルエルシー内

Fターム(参考) 4F100 AA37A AB01B AB16B AK01C BA02 BA03 BA07 BA10A BA10B BA10C
DA11A DD32C DE01A DE04C DG01B DG15B DH01C DJ00B GB31 JG01B
JL03 YY00A

【外国語明細書】

2017149134000001.pdf

2017149134000002.pdf

2017149134000003.pdf

2017149134000004.pdf