

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7235274号
(P7235274)

(45)発行日 令和5年3月8日(2023.3.8)

(24)登録日 令和5年2月28日(2023.2.28)

(51)Int. Cl. F I
 G 0 1 N 29/48 (2006.01) G 0 1 N 29/48
 G 0 1 N 29/11 (2006.01) G 0 1 N 29/11

請求項の数 14 (全 15 頁)

(21)出願番号	特願2018-125461(P2018-125461)	(73)特許権者	501204525
(22)出願日	平成30年6月29日(2018.6.29)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(65)公開番号	特開2020-3431(P2020-3431A)		東京都三鷹市新川6丁目3番1号
(43)公開日	令和2年1月9日(2020.1.9)	(74)代理人	100098545
審査請求日	令和3年5月31日(2021.5.31)		弁理士 阿部 伸一
		(74)代理人	100087745
			弁理士 清水 善廣
		(74)代理人	100106611
			弁理士 辻田 幸史
		(74)代理人	100189717
			弁理士 太田 貴章

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超音波による表面の変化状況の検出方法、及び超音波による表面の変化状況の検出システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波を用いて船体外板への付着物の付着状況を含めた表面の変化状況を検出する表面の変化状況の検出方法であって、

第1の時刻において船体の内側から前記超音波を前記船体外板へ入射させ、前記船体の内側で第1の反射エコー強度を計測し、第2の時刻において前記船体の内側から前記超音波を少なくとも前記船体外板へ入射させ、前記船体の内側で第2の反射エコー強度を計測し、計測した前記第1の反射エコー強度と前記第2の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な前記積分値の差に基づき前記船体外板への前記付着物の付着状況を含めた変化状況を検出することを特徴とする超音波による表面の変化状況の検出方法。

10

【請求項2】

前記第1の時刻における前記第1の反射エコー強度を予め計測して記録し、記録した前記第1の反射エコー強度を前記比較に用いることを特徴とする請求項1に記載の超音波による表面の変化状況の検出方法。

【請求項3】

前記付着物が前記船体外板に付着する海洋生物であることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の超音波による表面の変化状況の検出方法。

【請求項4】

前記超音波の入射と、前記第1の反射エコー強度及び前記第2の反射エコー強度の計測を前記船体外板の同一箇所で行なうことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1

20

項に記載の超音波による表面の変化状況の検出方法。

【請求項 5】

前記超音波の入射と、前記第 1 の反射エコー強度及び前記第 2 の反射エコー強度の計測を前記船体外板の別の箇所で行なうことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出方法。

【請求項 6】

前記超音波の入射を前記船体外板の複数箇所で行い、前記第 1 の反射エコー強度及び前記第 2 の反射エコー強度の計測を前記船体外板の一箇所で行なうことを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出方法。

【請求項 7】

検出した前記船体外板への前記付着物の付着状況を報知することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出方法。

【請求項 8】

超音波を用いて船体外板への付着物の付着状況を含めた表面の変化状況を検出する表面の変化状況の検出システムであって、船体の内側から前記超音波を少なくとも前記船体外板へ入射させる超音波入射手段と、前記船体の内側で少なくとも前記船体外板からの反射エコー強度を計測する反射エコー計測手段と、計測した第 1 の時刻における第 1 の反射エコー強度と第 2 の時刻における第 2 の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な前記積分値の差に基づき前記船体外板への前記付着物の付着状況を含めた変化状況を検出する付着検出手段とを備えたことを特徴とする超音波による表面の変化状況の検出システム。

【請求項 9】

前記第 1 の時刻における前記第 1 の反射エコー強度を予め計測した結果を記録し、前記第 2 の反射エコー強度との前記比較に用いるための記録手段を備えたことを特徴とする請求項 8 に記載の超音波による表面の変化状況の検出システム。

【請求項 10】

前記付着物が前記船体外板に付着する海洋生物であることを特徴とする請求項 8 又は請求項 9 に記載の超音波による表面の変化状況の検出システム。

【請求項 11】

前記超音波の入射と、前記第 1 の反射エコー強度及び前記第 2 の反射エコー強度の計測を前記船体外板の同一箇所で行なうことを特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出システム。

【請求項 12】

前記超音波入射手段と、前記反射エコー計測手段を前記船体外板の別の箇所に設け、前記超音波の入射と前記反射エコー強度の計測を別の箇所で行なうことを特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出システム。

【請求項 13】

前記超音波入射手段を前記船体外板の複数の箇所に設け、前記超音波の入射を複数箇所で行い、前記反射エコー計測手段を前記船体外板の一箇所に設け、前記反射エコー強度の計測を一箇所で行なうことを特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出システム。

【請求項 14】

前記付着検出手段で検出した前記船体外板への前記付着物の付着状況を報知する報知手段を備えたことを特徴とする請求項 8 から請求項 13 のいずれか 1 項に記載の超音波による表面の変化状況の検出システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波を用いて構造物への付着物の付着状況を含む変化状況を検出する、超音波による表面の変化状況の検出方法、及び超音波による表面の変化状況の検出システム

10

20

30

40

50

に関する。

【背景技術】

【0002】

船体表面へのフジツボ等の海洋生物付着は、推進時の船体抵抗を著しく増大させる。また、海洋生物が船舶の船体に付着して移動し本来の生息地から離れた場所で剥落して繁殖する「生物越境」も問題視されている。

現状、船体への海洋生物の付着状況の観測は、修繕ドック入渠時のドライアップ（水抜き）後に目視で行われることがほとんどである。ダイバーやROV（遠隔操作型の無人潜水機）による船底の画像撮影等によって観測することも可能ではあるが、船舶航行中の観測は困難であり観測のタイミングが限定される。

10

【0003】

ここで、特許文献1には、超音波探傷器の送信用と受信用とからなる一对の探触子を被検査管の外側に対称的に当て、超音波のパルスを送信し、受信したパルスの波形を健全な管に対する波形と比較することによって、配管内部における海生物の付着状況を測定する方法が開示されている。また、特許文献1には、被検査管の外側の一点に超音波探傷器の探触子を当て、管本体からのエコーと、海生物表面からのエコーを計測し、海生物表面からのエコーの伝播距離を読み取ることにより配管内部における海生物の付着厚さを測定する方法も開示されている。

また、特許文献2には、管の外壁より所定の間隔を隔てて超音波発信子と受信子とを対向配置し、該間隔を管内の流体と同種の音響接合液体で満たした状態で発信子より受信子へ向けて流体中に超音波を伝播してその超音波減衰割合を検出し、該検出値と予め既知のスケール厚さについて求めた超音波減衰率の校正値とから演算により管内に付着しているスケール厚さを求める方法が開示されている。

20

また、特許文献3には、支脚を有する枠体に固定したガイドバーに超音波送受波器を取り付けた走査体が摺動自在に支持され、超音波送受波器から一定周期毎に超音波のパルス信号を送射しながら走査体を移動させ、送射したパルス信号が海洋成生物から反射される信号を超音波送受波器で受波し、送射信号と受信信号との時間差を検出し、既知の超音波の音速と時間差から超音波送受波器と海洋成生物との距離を算出し、既知の超音波送受波器と基盤との距離から海洋成生物の層厚を算出し、信号送射点における海洋成生物の層厚を測定走査する装置が開示されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平3-188390号公報

【特許文献2】特開昭62-54113号公報

【特許文献3】実公平3-8967号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献1から特許文献3に記載の方法又は装置では、例えば船体外表面への付着物の付着状況を船体内側から検出することは以下の理由により困難である。

40

特許文献1に記載の方法のうち上記一つ目の方法、及び特許文献2に記載の方法は、管を隔てて対向配置した発信子と受信用の2つの超音波センサを用いて、超音波の透過波の減衰により管内に付着した付着物の付着状況を検出する。しかし、船体外表面への付着物を船体内側から検知しようとする場合は、船体外側に受信用の超音波センサを設置することは困難である。

特許文献1に記載の方法のうち上記二つ目の方法、及び特許文献3に記載の装置は、超音波のTime of Flight法（TOF法）を用いて配管内部に付着した付着物の付着厚さを測定するものである。しかし、船体外表面の付着物を船体内側から検知しようとする場合は、付着物の付着面（船体外表面）は超音波センサを接触させる面（船体内表面）のすぐ反対

50

側の面であることにより、付着面からの反射エコーと付着物による反射エコーが重畳して計測されるため、付着物によるエコーの起点が不明確となり、TOF法の適用は困難である。

【 0 0 0 6 】

そこで本発明は、例えば船体内側からでも船体外表面への付着物の付着状況を含めた変化状況が検出できるように、構造物の一方の面における付着物の付着状況を含めた変化状況を、その一方の面と表裏一体の関係にある他方の面から超音波を入射することで検出できる、超音波による表面の変化状況の検出方法、及び超音波による表面の変化状況の検出システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

請求項1記載に対応した超音波による表面の変化状況の検出方法においては、超音波を用いて船体外板への付着物の付着状況を含めた表面の変化状況を検出する表面の変化状況の検出方法であって、第1の時刻において船体の内側から超音波を船体外板へ入射させ、船体の内側で第1の反射エコー強度を計測し、第2の時刻において船体の内側から超音波を少なくとも船体外板へ入射させ、船体の内側で第2の反射エコー強度を計測し、計測した第1の反射エコー強度と第2の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な前記積分値の差に基づき船体外板への付着物の付着状況を含めた変化状況を検出することを特徴とする。

なお、付着物には外来の付着物、付着物が成長したもの、周囲から析出したもの、船体外板が化学変化を起こして船体外板の表面が付着物状になったもの等を含むものとする。

請求項1に記載の本発明によれば、第1の反射エコー強度と第2の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な積分値の差に基づき付着状況を含めた変化状況を検出することで、船体外板の一方の面における付着物の付着状況を含めた変化状況を、例えば、その一方の面と表裏一体の関係にある他方の面側から検出することができる。これにより、例えば、船体外表面への付着物の有無を含めた変化状況を船体内側からでも検出することができるため、停泊中と航行中とを問わずに船体外表面への付着物の付着状況を含めた変化状況のモニタリングが適時可能となる。また、計測が容易な反射エコー強度を用いて第1の反射エコーと第2の反射エコーとの差が明確になるため、付着物の付着状況を含めた変化状況の検出が容易となる。

【 0 0 0 8 】

請求項2記載の本発明は、第1の時刻における第1の反射エコー強度を予め計測して記録し、記録した第1の反射エコー強度を比較に用いることを特徴とする。

請求項2に記載の本発明によれば、比較の基準となる第1の反射エコー強度を計測のたびに計測する必要がなくなるため、時間を短縮できる。例えば、第1の時刻が付着物の付いていない開始時刻であり、第2の時刻が付着物の付いた経過時刻である場合、経過時刻において、付着物を剥がして第1の反射エコー強度を計測しなくても済む。また、比較の基準が一定となることで、付着状況を含めた変化状況の検出精度が向上する。

【 0 0 0 9 】

請求項3記載の本発明は、付着物が船体外板に付着する海洋生物であることを特徴とする。

請求項3に記載の本発明によれば、船体外板に付着する海洋生物等の付着状況を含めた変化状況を検出することができる。

【 0 0 1 0 】

請求項4記載の本発明は、超音波の入射と、第1の反射エコー強度及び第2の反射エコー強度の計測を船体外板の同一箇所で行なうことを特徴とする。

請求項4に記載の本発明によれば、時刻が変わっても同一箇所の付着物の付着状況を含めた変化状況を正確に検出できる。

【 0 0 1 1 】

請求項5記載の本発明は、超音波の入射と、第1の反射エコー強度及び第2の反射エコー

10

20

30

40

50

一強度の計測を船体外板の別の箇所で行なうことを特徴とする。

請求項 5 に記載の本発明によれば、広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 1 2 】

請求項 6 に記載の本発明は、超音波の入射を船体外板の複数箇所で行い、第 1 の反射エコー強度及び第 2 の反射エコー強度の計測を船体外板の一箇所で行なうことを特徴とする。

請求項 6 に記載の本発明によれば、より広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 1 3 】

請求項 7 に記載の本発明は、検出した船体外板への付着物の付着状況を報知することを特徴とする。

10

請求項 7 に記載の本発明によれば、検出現場から離れた場所にいる人へも付着状況を含めた変化状況を知らせることができる。

【 0 0 1 4 】

請求項 8 に記載に対応した超音波による表面の変化状況の検出システムにおいては、超音波を用いて船体外板への付着物の付着状況を含めた表面の変化状況を検出する表面の変化状況の検出システムであって、船体の内側から超音波を少なくとも船体外板へ入射させる超音波入射手段と、船体の内側で少なくとも船体外板からの反射エコー強度を計測する反射エコー計測手段と、計測した第 1 の時刻における第 1 の反射エコー強度と第 2 の時刻における第 2 の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な前記積分値の差に基づき船体外板への付着物の付着状況を含めた変化状況を検出する付着検出手段とを備えたことを特徴とする。

20

請求項 8 に記載の本発明によれば、第 1 の反射エコー強度と第 2 の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な積分値の差に基づき付着状況を含めた変化状況を検出することで、船体外板の一方の面における付着物の付着状況を含めた変化状況を、例えば、その一方の面と表裏一体の関係にある他方の面側から検出することができる。これにより、例えば、船体外表面への付着物の有無を含めた変化状況を船体内側からでも検出することができるため、停泊中と航行中とを問わずに船体外表面への付着物の付着状況を含めた変化状況のモニタリングが適時可能となる。また、計測が容易な反射エコー強度を用いて第 1 の反射エコーと第 2 の反射エコーとの差が明確になるため、付着物の付着状況を含めた変化状況の検出が容易となる。

30

【 0 0 1 5 】

請求項 9 に記載の本発明は、第 1 の時刻における第 1 の反射エコー強度を予め計測した結果を記録し、第 2 の反射エコー強度との比較に用いるための記録手段を備えたことを特徴とする。

請求項 9 に記載の本発明によれば、比較の基準となる第 1 の反射エコー強度を計測のたびに計測する必要がなくなるため、計測に要する時間を短縮できる。また、比較の基準が一定となることで、付着状況を含めた変化状況の検出精度が向上する。

【 0 0 1 6 】

請求項 10 に記載の本発明は、付着物が船体外板に付着する海洋生物であることを特徴とする。

40

請求項 10 に記載の本発明によれば、船体外板に付着する海洋生物等の付着状況を含めた変化状況を検出することができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 11 に記載の本発明は、超音波の入射と、第 1 の反射エコー強度及び第 2 の反射エコー強度の計測を船体外板の同一箇所で行なうことを特徴とする。

請求項 11 に記載の本発明によれば、時刻が変わっても同一箇所の付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 1 8 】

請求項 12 に記載の本発明は、超音波入射手段と、反射エコー計測手段を船体外板の別の

50

箇所に設け、超音波の入射と反射エコー強度の計測を別の箇所で行なうことを特徴とする。

請求項 1 2 に記載の本発明によれば、広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 1 9 】

請求項 1 3 に記載の本発明は、超音波入射手段を船体外板の複数の箇所に設け、超音波の入射を複数箇所で行い、反射エコー計測手段を船体外板の一箇所に設け、反射エコー強度の計測を一箇所で行なうことを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の本発明によれば、より広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 2 0 】

請求項 1 4 に記載の本発明は、付着検出手段で検出した船体外板への付着物の付着状況を報知する報知手段を備えたことを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の本発明によれば、検出現場から離れた場所にいる人へも付着状況を含めた変化状況を知らせることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 1 】

本発明の超音波による表面の変化状況の検出方法によれば、第 1 の反射エコー強度と第 2 の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な積分値の差に基づき付着状況を含めた変化状況を検出することで、船体外板の一方の面における付着物の付着状況を含めた変化状況を、例えば、その一方の面と表裏一体の関係にある他方の面側から検出することができる。これにより、例えば、船体外表面への付着物の有無を含めた変化状況を船体内側からでも検出することができるため、停泊中と航行中とを問わずに船体外表面への付着物の付着状況を含めた変化状況のモニタリングが適時可能となる。また、計測が容易な反射エコー強度を用いて第 1 の反射エコーと第 2 の反射エコーとの差が明確になるため、付着物の付着状況を含めた変化状況の検出が容易となる。

【 0 0 2 2 】

また、第 1 の時刻における第 1 の反射エコー強度を予め計測して記録し、記録した第 1 の反射エコー強度を比較に用いる場合には、比較の基準となる第 1 の反射エコー強度を計測のたびに計測する必要がなくなるため、時間を短縮できる。例えば、第 1 の時刻が付着物の付いていない開始時刻であり、第 2 の時刻が付着物の付いた経過時刻である場合、経過時刻において、付着物を剥がして第 1 の反射エコー強度を計測しなくても済む。また、比較の基準が一定となることで、付着状況を含めた変化状況の検出精度が向上する。

【 0 0 2 3 】

また、付着物が船体外板に付着する海洋生物である場合には、船体外板に付着する海洋生物等の付着状況を含めた変化状況を検出することができる。

【 0 0 2 4 】

また、超音波の入射と、第 1 の反射エコー強度及び第 2 の反射エコー強度の計測を船体外板の同一箇所で行なう場合には、時刻が変わっても同一箇所の付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 2 5 】

また、超音波の入射と、第 1 の反射エコー強度及び第 2 の反射エコー強度の計測を船体外板の別の箇所で行なう場合には、広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 2 6 】

また、超音波の入射を船体外板の複数箇所で行い、第 1 の反射エコー強度及び第 2 の反射エコー強度の計測を船体外板の一箇所で行なう場合には、より広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【 0 0 2 7 】

また、検出した船体外板への付着物の付着状況を報知する場合には、検出現場から離れ

10

20

30

40

50

た場所にいる人へも付着状況を含めた変化状況を知らせることができる。

【0028】

また、本発明の超音波による付着物の検出システムによれば、第1の反射エコー強度と第2の反射エコー強度の時間的な積分値の差を比較し、時間的な積分値の差に基づき付着状況を含めた変化状況を検出することで、船体外板の一方の面における付着物の付着状況を含めた変化状況を、例えば、その一方の面と表裏一体の関係にある他方の面側から検出することができる。これにより、例えば、船体外表面への付着物の有無を含めた変化状況を船体内側からでも検出することができるため、停泊中と航行中とを問わずに船体外表面への付着物の付着状況を含めた変化状況のモニタリングが適時可能となる。また、計測が容易な反射エコー強度を用いて第1の反射エコーと第2の反射エコーとの差が明確になるため、付着物の付着状況を含めた変化状況の検出が容易となる。

10

【0029】

また、第1の時刻における第1の反射エコー強度を予め計測した結果を記録し、第2の反射エコー強度との比較に用いるための記録手段を備えた場合には、比較の基準となる第1の反射エコー強度を計測のたびに計測する必要がなくなるため、計測に要する時間を短縮できる。また、比較の基準が一定となることで、付着状況を含めた変化状況の検出精度が向上する。

【0030】

また、付着物が船体外板に付着する海洋生物である場合には、船体外板に付着する海洋生物等の付着状況を含めた変化状況を検出することができる。

20

【0031】

また、超音波の入射と、第1の反射エコー強度及び第2の反射エコー強度の計測を船体外板の同一箇所で行なう場合には、時刻が変わっても同一箇所の付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【0032】

まあ、超音波入射手段と、反射エコー計測手段を船体外板の別の箇所に設け、超音波の入射と反射エコー強度の計測を別の箇所で行なう場合には、広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

【0033】

また、超音波入射手段を船体外板の複数の箇所に設け、超音波の入射を複数箇所で行い、反射エコー計測手段を船体外板の一箇所に設け、反射エコー強度の計測を一箇所で行なう場合には、より広い範囲にわたって付着物の付着状況を含めた変化状況を検出できる。

30

【0034】

また、付着検出手段で検出した船体外板への付着物の付着状況を報知する報知手段を備えた場合には、検出現場から離れた場所にいる人へも付着状況を含めた変化状況を知らせることができる。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】本実施形態における超音波による付着物の検出システムの配置例を示す図

【図2】実験に用いた装置の概要図

40

【図3】反射エコーの例を示す図

【図4】超音波の反射の例を示す概念図

【図5】反射エコー強度の積分値（累積値）の例を示す図

【図6】第1の反射エコーと第2の反射エコーとのずれが略一定となった時点における反射エコー強度の積分値の例を示す図

【図7】反射エコーのパワースペクトルの例を示す図

【図8】超音波入射手段と反射エコー計測手段の他の配置例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0036】

本発明の実施形態における超音波による付着物の検出方法、及び超音波による付着物の

50

検出システムについて説明する。

本実施形態の超音波による付着物の検出方法及び検出システムは、超音波を発信し、構造物及び付着物から反射された反射エコーを利用して構造物への付着物の付着状況を検出する。

なお、表面の変化には、付着物として外来の付着物、付着物が成長したもの、周囲から析出したもの、構造物が化学変化を起こして構造物の表面が付着物状になったもの等を含むものとする。

【 0 0 3 7 】

図 1 は、本実施形態における超音波による付着物の検出システムの配置例を示す図である。

構造物 1 は、一方の面 1 A は液体と接しており、他方の面 1 B は液体と接していない。なお、超音波プローブ 1 0 と他方の面 1 B の間には、超音波の伝達を促進させる接触媒質（グリセリン等）を充填することが好ましい。構造物 1 は、例えば船体である。一方の面（船体外表面等）1 A に接する液体が海水の場合は、一方の面 1 A にフジツボ等の海洋生物が付着する可能性がある。なお、「船体」には、船体外板の他、シーチェスト、プロペラ、海水冷却システムの構成機器（配管、熱交換器、グレーチング等）、舵等の操舵装置、スタビライザー等の海水に没した部位等を含む。

超音波による付着物の検出システムは、超音波を発信する超音波入射手段 1 1 と、反射面で反射されてエコーとなった超音波（反射エコー）を受信する反射エコー計測手段 1 2 と、反射エコーに基づいて構造物 1 への付着物の付着状況を検出する付着検出手段 2 1 と、反射エコーのデータを記録する記録手段 2 2 と、検出された付着物の付着状況を音又は文字等によって知らせる報知手段 2 3 を備える。

本実施形態においては、超音波を送受信する 1 台の超音波プローブ 1 0 が、超音波入射手段 1 1 と反射エコー計測手段 1 2 を兼用している。

また、付着検出手段 2 1、記録手段 2 2 及び報知手段 2 3 は、1 台のノートパソコン 2 0 に備えられている。

超音波プローブ 1 0 とノートパソコン 2 0 との間には、超音波信号の送受信を行うパルサーレシーバ 3 0 と、オシロスコープ 4 0 が配置されており、超音波プローブ 1 0 とパルサーレシーバ 3 0 間、パルサーレシーバ 3 0 とオシロスコープ 4 0 間、オシロスコープ 4 0 とノートパソコン 2 0 間は、それぞれ有線接続されている。なお、有線接続の一部、又は全部を無線接続とすることも可能である。

超音波プローブ 1 0 で計測される反射エコーの信号は、オシロスコープ 4 0 を介してノートパソコン 2 0 に取り込まれる。なお、超音波プローブ 1 0 の入射手段 1 1 と反射エコー計測手段 1 2、ノートパソコン 2 0 の機能としての付着検出手段 2 1、記録手段 2 2 及び報知手段 2 3、パルサーレシーバ 3 0、及びオシロスコープ 4 0 は、適宜、個別にまた組み合わせて構成することができる。

【 0 0 3 8 】

図 1 に示すように、超音波による付着物の検出システムは、超音波入射手段 1 1 及び反射エコー計測手段 1 2 も含めて構造物 1 の片側一方のみに配置される。

図 1 においては、超音波プローブ 1 0（超音波入射手段 1 1 及び反射エコー計測手段 1 2）の先端を構造物 1 の壁の他方の面 1 B に接触させ、ノートパソコン 2 0、パルサーレシーバ 3 0、及びオシロスコープ 4 0 を床置きした状態を示している。

【 0 0 3 9 】

構造物 1 に付着した付着物の検出は、以下の手順で行う。

まず、構造物 1 について、海洋生物等の付着物の付着状況を確認する位置となる計測箇所を決定する。この計測箇所は、その時点において一方の面 1 A への付着物の付着が無い位置を選定することが好ましい。

次に、決定した計測箇所における構造物 1 の他方の面 1 B に超音波プローブ 1 0 の先端を、グリセリン等を介して密接させる。次に、超音波入射手段 1 1 から計測箇所へ向けて超音波を発信して超音波を構造物 1 へ入射させ、その反射エコーを反射エコー計測手段 1

10

20

30

40

50

2で計測する。このときに計測された反射エコーを、第1の時刻における第1の反射エコーとして、記録手段22に記録する。

第1の時刻における第1の反射エコーを計測してから所定時間が経過した後、第1の時刻における第1の反射エコーの計測箇所と同位置において、反射エコーの計測を行う。まず、計測箇所における船体1の他方の面1Bに超音波プローブ10の先端を密接させる。次に、超音波入射手段11から計測箇所へ向けて超音波を発信して超音波を構造物1へ入射させ、その反射エコーを反射エコー計測手段12で計測する。このときに計測された反射エコーを、第2の時刻における第2の反射エコーとして、記録手段22に記録する。

【0040】

第2の時刻における第2の反射エコーを計測した後、付着検出手段21は、記録手段22に記録されている第1の反射エコーの積分値又はパワースペクトルと、第2の反射エコーの積分値又はパワースペクトルを読み出し、両者を比較する。

比較の結果、第1の反射エコーの積分値又はパワースペクトルと第2の反射エコーの積分値又はパワースペクトルとに所定の差が生じていない場合は、第1の時刻から第2の時刻の間に計測箇所における一方の面1Aへの付着物の付着状況は変化していないと判断する。また、第1の反射エコーの積分値又はパワースペクトルと第2の反射エコーの積分値又はパワースペクトルとに所定の差が生じている場合は、第1の時刻から第2の時刻の間に計測箇所における一方の面1Aへの付着物の付着状況が変化すると判断する。

超音波による付着物の検出システムは、付着検出手段21による検出結果を、有線又は無線通信網に接続された報知手段23を通じて計測者や管理者等へ報知する。報知手段23を備えることにより、検出現場から離れた場所にいる人へも付着状況を知らせることができる。なお、報知手段23は、画像、音声、触覚等凡そ報知ができる手段の全てを含むものとする。

【0041】

ここで、本発明を用いた実験について説明する。図2は、実験に用いた装置の概要図である。

本実験では、構造物を試験片2で模擬した。試験片2は、素材が一般構造用鋼(S S 4 0 0)であり、寸法は高さ200mm、幅190mm、板厚9mmである。また、試験片2の表面には、塗装膜厚250 μ mの防食塗料が施されている。試験片2を実海域の海水中に長時間浸漬することにより一方の面2Aのみにフジツボを付着させた。付着したフジツボの大きさは、試験片2と接する部分で直径約10mmである。

航行中の船体内側からの計測を想定し、試験片2のうち、フジツボが付着している一方の面2Aを水面に接触させた状態で、フジツボが付着していない他方の面2B側から超音波を入射させることで計測を行った。試験片2の計測箇所は2箇所選定し、1つ目の計測箇所は一方の面2Aにフジツボが付着していない位置とし、2つ目の計測箇所は一方の面2Aにフジツボが付着している位置とした。

まず1つ目の計測箇所(フジツボ付着無し)において、超音波プローブ10の先端を他方の面2Bに密接させた状態で超音波入射手段11から超音波を発信して超音波を試験片2に入射させ、その反射エコーを反射エコー計測手段12で計測した。このときに計測された反射エコーを、第1の時刻における第1の反射エコーとして記録手段22に記録した。

次に、2つ目の計測箇所(フジツボ付着有り)において、超音波プローブ10の先端を他方の面2Bに密接させた状態で超音波入射手段11から超音波を発信して超音波を試験片2に入射させ、その反射エコーを反射エコー計測手段12で計測した。このときに計測された反射エコーを、第2の時刻における第2の反射エコーとして記録手段22に記録した。

【0042】

図3は、本実験における反射エコーを示す図であり、縦軸は電圧[mV]、横軸は時間[nsec]である。図3(a)では電圧を正負の値で表し、図3(b)では電圧を絶対値で表している。図3において、破線は1つ目の計測箇所(フジツボ付着無し)における計測結

果を示し、実線は2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）における計測結果を示している。

また、図4は、本実験における超音波の反射を示す概念図である。図4（a）は2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）における反射を示し、図4（b）は1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）における反射を示している。

図3より、測定開始から一定時間経過後に（超音波プローブ10から一定の距離離れた箇所において）両者の波形にずれが生じることが分かる。このずれは、両者における反射面の数の違いに因る。図4（a）に示すように、2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）の場合は、試験片2に入射した超音波の反射面は、試験片2と防食塗料3との境界面、防食塗料3とフジツボ4との境界面、及びフジツボ4と海水5との境界面の計3つである。一方、図4（b）に示すように、1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）の場合は、試験片2に入射した超音波の反射面は、試験片2と防食塗料3との境界面、及び防食塗料3と海水5との境界面の計2つである。すなわち、2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）のほうが、1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）よりも反射面が多いため反射エコーが多く、両者の波形にずれが生じる。

【0043】

このように付着物が有る場合には超音波を反射する界面（反射面）が増加するため、より多くの反射エコーが返ってくる。そこで、1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）における第1の反射エコーとして第1の反射エコー強度の時間的な積分値と、2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）における第2の反射エコーとして第2の反射エコー強度の時間的な積分値とを比較することで、計測が容易な反射エコー強度を用いて第1の反射エコーと第2の反射エコーとの差が明確になり、付着物の有無の検出が容易となる。

図5は、反射エコーの積分値（累積値）を示す図であり、縦軸は電圧[mV]、横軸は時間[nsec]である。図5において、破線は1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）における計測結果を示し、実線は2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）における計測結果を示している。

図6は、第1の反射エコーと第2の反射エコーとのずれが概略一定となった時点における反射エコーの積分値[$\mu\text{V}\cdot\text{s}$]を示す図である。図6において、左側のデータは1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）における計測結果を示し、右側のデータは2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）における計測結果を示している。

図5及び図6より、2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）のほうが1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）よりも反射エコー強度の積分値が大きくなっていることが分かる。

なお、図5は、反射エコーの積分値（累積値）の時間的な推移を示し、図6は、図5のある時間での累積値の差を積分値として示しているが、積分値として差が見えることで、付着の有無を判断することができる。積分値に基づく付着の判断は、積分値の差だけで行われるだけでなく、累積値（積分値）やその差が概略一定になる前の状態においても、例えば、図5の2つの曲線の差の推移（傾き、微分等）等からも判断が可能となる。この際に、目視、パターン認識、画像処理、人工知能（AI）等を用いて比較することができる。

【0044】

また、図7は反射エコーのパワースペクトルを示す図であり、縦軸はパワースペクトル、横軸は周波数[MHz]である。

図7のデータは、図3のデータをフーリエ変換により周波数変換したものである。図7においては、1つ目の計測箇所（フジツボ付着無し）における計測結果を破線で示し、2つ目の計測箇所（フジツボ付着有り）における計測結果を実線で示している。

図7より、両者のパワースペクトルの周波数帯の変化度合には有意な差が生じていることが分かる。

このように、付着物が付着している場合と付着物が付着していない場合とではパワースペクトルの周波数帯の変化度合が異なるため、第1の反射エコーとして第1のパワースペクトルを計測し、第2の反射エコーとして第2のパワースペクトルを計測し、両者のパワ

ースペクトルの支配的な周波数帯の変化を比較に用いることで、付着状況が反映されるパワースペクトルの周波数帯の変化を用いて第1の反射エコーと第2の反射エコーとの差が明確になり、付着物の有無の検出が容易となる。

支配的な周波数帯の変化の比較は、目視、パターン認識、画像処理、人工知能(AI)等を用いて比較することができる。

なお、第1のパワースペクトルと第2のパワースペクトルを積分して、比較することも可能である。

【0045】

上記の実験により、フジツボが付着している場合としていない場合とでは反射エコーの積分値又はパワースペクトルに差が生じるため、第1の反射エコーと第2の反射エコーについて、積分値又はパワースペクトルの少なくとも一方を比較することで、付着物の付着有無など、付着物の付着状況を検出できることが分かる。

したがって、図1を用いて説明したように、第1の時刻において超音波を構造物1へ入射させ第1の反射エコーを計測し、第2の時刻において超音波を少なくとも構造物1へ入射させ第2の反射エコーを計測し、第1の反射エコーと第2の反射エコーの積分値又はパワースペクトルを比較して構造物1への付着物の付着状況を検出することで、構造物1の一方の面1Aにおける付着物の付着状況を、例えば、一方の面1Aと表裏一体の関係にある他方の面1B側から検出することができる。これにより、例えば、船体外表面への付着物の有無を船体内側からでも検出することができるため、停泊中と航行中とを問わずに船体外表面への付着物の付着状況のモニタリングが適時可能となり、船体の効率的な保守管理を行うことができる。また、停泊間隔が長い船舶においては、入渠時期を早める必要があるか否かの判断等に付着状況の検出結果を利用することができる。また、今後は生物越境問題の観点から外航船の入港に際しての船体への生物付着状況のチェックが厳格化されることも予想されるため、その対策としての活用が期待される。なお、反射エコーの積分値とパワースペクトルについては、両者を組み合わせて付着物の付着状況を検出することも可能である。

【0046】

なお、新造船時やメンテナンス時など構造物1に付着物が付着していない状態において、第1の時刻における第1の反射エコーを、構造物1ごとに予め計測して記録手段22に記録しておくことが好ましい。

比較の基準となる第1の反射エコーを予め記録しておくことにより、計測のたびに第1の反射エコーを計測する必要がなくなるため、計測に要する時間を短縮できる。例えば、第1の時刻が付着物の付いていない開始時刻であり、第2の時刻が付着物の付いた経過時刻である場合、経過時刻において、付着物を剥がして第1の反射エコーを計測しなくても済む。また、比較の基準が一定となることで、付着検出手段21による付着状況の検出精度が向上する。さらに、構造物1に付着物が付着していない状態における反射エコーを第1の反射エコーとして記録しておくことで、付着物が無い状態における反射エコーのデータが明確となり、付着物の有無の検出精度をより向上させることができる。

【0047】

また、超音波入射手段11と反射エコー計測手段12は、構造物1の種類や計測範囲等に応じて、相対位置や数を変更してもよい。なお、この場合においても、超音波入射手段11と反射エコー計測手段12は構造物1の片側一方のみに配置する。

図8は、超音波入射手段と反射エコー計測手段の他の配置例を示す図である。図8において、左側は構造物を省略した下面図、右側は側面断面図である。

図8(a)は、超音波入射手段11と反射エコー計測手段12を一つの筐体に収容しており、図1と同じく、超音波の入射と、第1の反射エコー及び第2の反射エコーの計測を構造物1の同一箇所で行うものである。このように配置することにより、時刻が変わっても同一箇所の付着物の付着状況を正確に検出できる。なお、図1では超音波入射手段11が反射エコー計測手段12を兼ねていたが、図8(a)では超音波入射手段11と反射エコー計測手段12とが独立したものである点において相違する。

図 8 (b) は、超音波入射手段 1 1 と、反射エコー計測手段 1 2 を離して設け、超音波入射と反射エコーの計測を別々の箇所で行うものである。このように配置することにより、より広い範囲にわたって付着物の付着状況を検出できる。

図 8 (c) は、超音波入射手段 1 1 を構造物 1 の複数の箇所に設け、反射エコー計測手段 1 2 を構造物 1 の一箇所に設け、超音波の入射を複数箇所で行い、反射エコーの計測を一箇所で行うものである。このように配置することにより、より広い範囲にわたって付着物の付着状況を検出できる。

なお、超音波入射手段 1 1 から送信する超音波は、超音波入射手段 1 1 と反射エコー計測手段 1 2 の配置や計測範囲に応じて、縦波、横波、又は表面波を選択する。

【 0 0 4 8 】

また、構造物 1 は、上述した船体に限られるものではない。

構造物 1 は、陸上における発電所や工場の配管、又は配管設備、冷却用海水の取水口に設置されるグレーチングとすることもできる。

また、構造物 1 は、海上や海中における風力発電、波力発電、海流発電、潮流発電、水流発電、又は石油・鉱物等の掘削設備等の施設・設備とすることもできる。

また、構造物 1 は、航路標識、ブイ、航空・港湾設備、又はフジツボ類の養殖施設等とすることもできる。

【 0 0 4 9 】

また、超音波の入射と、その反射エコーの計測を構造物 1 の外側から行い、付着物の付着状況を検出することもできる。例えば構造物 1 が船体の場合は、ROV や AUV (自律型無人潜水機) 等に搭載した付着物の検出システムにより、船体外板等に対して外側(付着物側)から超音波を海水、又は水を介して入射させ、その反射エコーを外側で計測する。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 5 0 】

本発明によれば、船体外表面への付着物の有無を含めた表面の変化状況が船体内側からでも検出することができるため、停泊中と航行中とを問わずに船体外表面への付着物の付着状況を含めた表面の変化状況のモニタリングが適時可能となり、船体外表面の効率的な保守管理を行うことができる。また、外航船による生物越境問題の解決策の一助とすることができる。さらに、各種構造物への様々な付着物の付着状況や、物理的な海蝕又は摩耗による表面の塗装膜厚の変化等を検出することが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 1 】

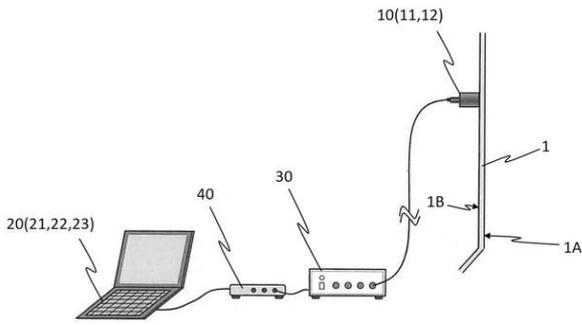
- 1 構造物
- 1 1 超音波入射手段
- 1 2 反射エコー計測手段
- 2 1 付着検出手段
- 2 2 記録手段
- 2 3 報知手段

10

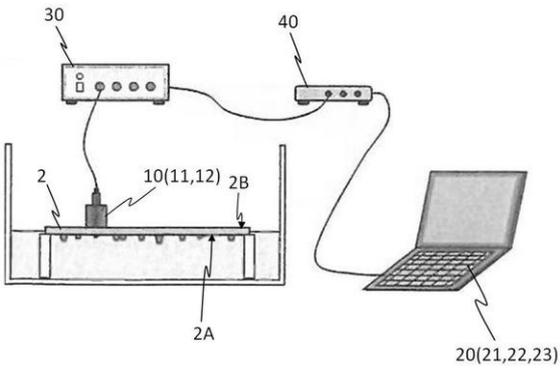
20

30

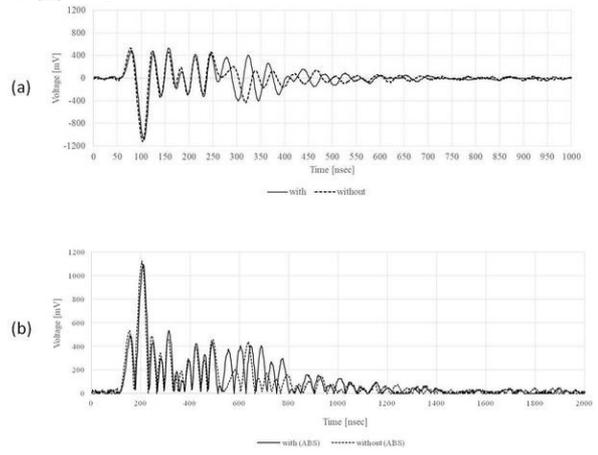
【図1】



【図2】

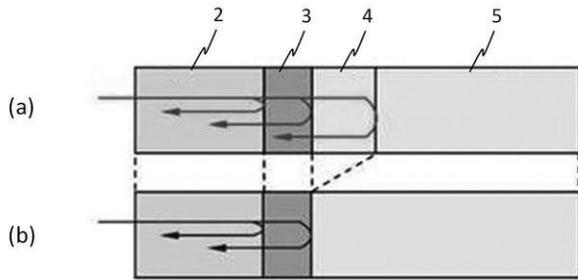


【図3】

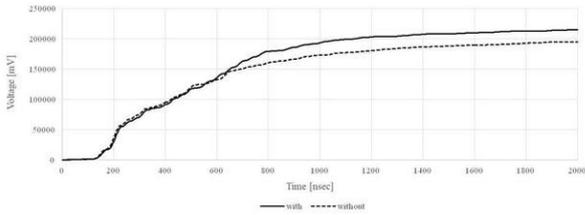


10

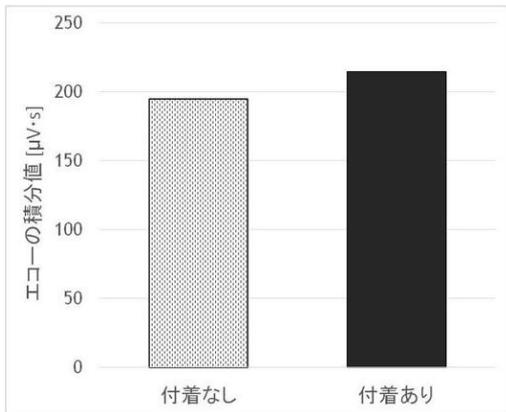
【図4】



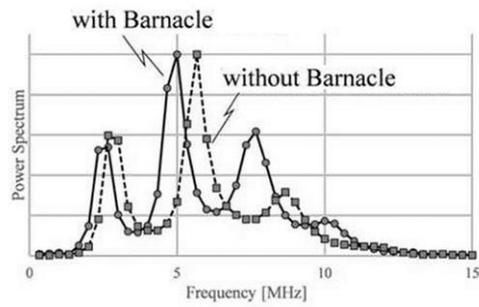
【図5】



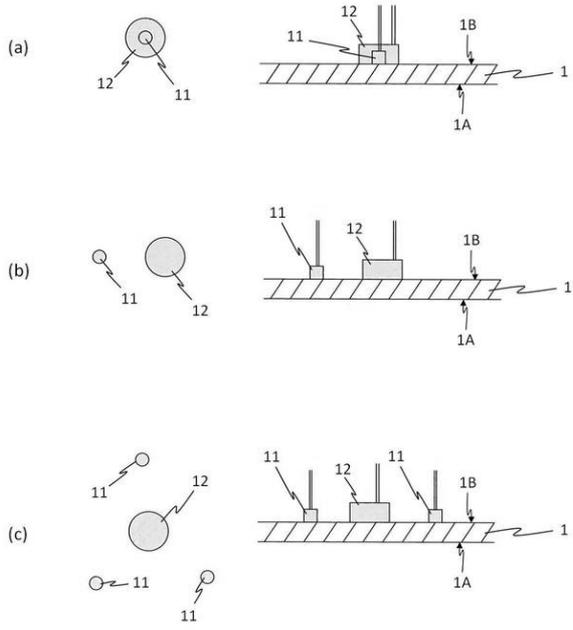
【図6】



【図7】



【 図 8 】



フロントページの続き

特許法第30条第2項適用 1.平成30年1月25日発行,第25回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集,第19~22頁,一般社団法人日本非破壊検査協会 2.平成30年1月25日に開催された、第25回超音波による非破壊評価シンポジウムにて発表 3.平成30年1月30日掲載,海上技術安全研究所報告,第17巻,第3号,第201~225頁,https://www.nmri.go.jp/_src/21703/pnm23170307-00.pdf 4.平成30年1月30日発行,海上技術安全研究所報告,第17巻,第3号,第201~225頁,国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 5.平成30年3月12日発行,日本機械学会関東支部第24期総会・講演会 講演論文集,OS1014,一般社団法人日本機械学会 関東支部 6.平成30年3月18日に開催された、日本機械学会関東支部第24期総会・講演会にて発表

(72)発明者 藤本 修平

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 亀山 道弘

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 谷口 智之

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

(72)発明者 島田 道男

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

審査官 越柴 洋哉

(56)参考文献 特開2008-032466(JP,A)

特開2003-130854(JP,A)

特開2016-028224(JP,A)

特開平01-223307(JP,A)

米国特許出願公開第2011/0303012(US,A1)

藤本修平 ほか,超音波エコー解析による鋼板へのフジツボ付着の検出,日本機械学会年次大会講演論文集,2017年09月02日,Vol.2017,J0420105,<https://doi.org/10.1299/jsmemecj.2017.J0420105>

J0420105

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G01N 29/00 - G01N 29/52

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)