

(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2010-256352
(P2010-256352A)

(43) 公開日 平成22年11月11日(2010.11.11)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO1H 17/00 (2006.01) GO1H 17/00 Z 2GO64

審査請求 未請求 請求項の数 9 OL (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2010-97476 (P2010-97476)
 (22) 出願日 平成22年4月21日(2010.4.21)
 (31) 優先権主張番号 12/429,239
 (32) 優先日 平成21年4月24日(2009.4.24)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 390041542
 ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
 GENERAL ELECTRIC CO
 MPANY
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
 クタデイ、リバーロード、1番
 (74) 代理人 100137545
 弁理士 荒川 聡志
 (74) 代理人 100105588
 弁理士 小倉 博
 (74) 代理人 100129779
 弁理士 黒川 俊久
 (72) 発明者 リチャード・ニルス・ドーソン
 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ヴーリ
 ーズヴィル、ストーン・ロード、40番
 最終頁に続く

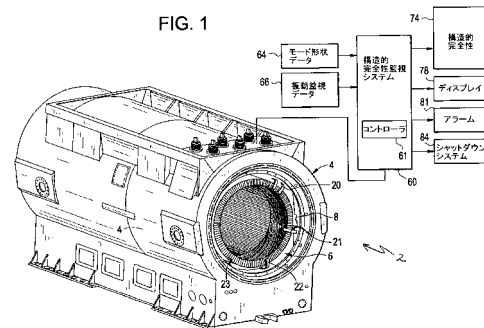
(54) 【発明の名称】 構造的完全性監視システム

(57) 【要約】

【課題】 構造的完全性監視システム及び方法を提供すること。

【解決手段】 構造的完全性監視システム(60)は、構造体(2)と、該構造体に装着された少なくとも2つの振動監視デバイス(20~25)とを含む。少なくとも2つの振動監視デバイス(20~25)の各々は、振動応答信号を出力する。構造的完全性監視システム(60)はまた、少なくとも2つの振動監視デバイス(20~25)の各々に動作可能に接続されたコントローラ(61)を含む。コントローラ(61)は、振動モード形状及び振動応答信号に基づいて予測振動応答を計算するよう構成される。次に、コントローラ(61)は、測定振動応答に対して予測振動応答を比較し、構造体(2)の変化を検出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

構造的完全性監視システム（60）において、
構造体（2）と、

前記構造体（2）に装着され、各々が振動応答信号を出力する少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）と、

前記少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）の各々に動作可能に接続され、振動モード形状及び前記振動応答信号に基づいて予測振動応答を計算するよう適合されたコントローラ（61）と、

を備え、前記コントローラ（61）が、測定振動応答に対して前記予測振動応答を比較し、前記構造体（2）の変化を検出する、
構造的完全性監視システム（60）。 10

【請求項 2】

前記少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）が、変位センサ、加速度計、歪みゲージ、速度センサのいずれかを含む、請求項1に記載の構造的完全性監視システム（60）。

【請求項 3】

前記少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）が少なくとも1つの変位センサを含む、請求項1に記載の構造的完全性監視システム（60）。 20

【請求項 4】

前記少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）が少なくとも1つの加速度計（30）を含む、請求項1に記載の構造的完全性監視システム（60）。 20

【請求項 5】

前記少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）が少なくとも1つの歪みゲージ（30）を含む、請求項1に記載の構造的完全性監視システム（60）。 20

【請求項 6】

前記少なくとも2つの振動監視デバイス（20～25）が少なくとも1つの速度センサ（30）を含む、請求項1に記載の構造的完全性監視システム（60）。 20

【請求項 7】

前記複数の振動監視デバイス（20～25）が、変位近接プローブ、加速度計、及び歪みゲージ（30、31）の少なくとも2つを含む、請求項1に記載の構造的完全性監視システム（60）。 30

【請求項 8】

前記コントローラ（61）に動作可能に接続され、前記構造体（2）の構造的完全性の表示をグラフィカル形式で提示するディスプレイ（78）を更に備える、請求項1乃至7のいずれか1項に記載の構造のいずれか1項システム（60）。 30

【請求項 9】

前記構造体が発電機（2）である、請求項1乃至8のいずれか1項に記載の構造的完全性監視システム（60）。 30

【発明の詳細な説明】 40

【技術分野】

【0001】

本明細書で開示される主題は、監視システムの技術に関し、より詳細には、構造的完全性監視システムに関する。

【背景技術】

【0002】

定期的検査を実施するため、又は構造的完全性の評価用に振動試験を行うため、ターボ機械、発電機、又は同様のものなどの1つの装備を供用から取り外すことは、多大なコストがかかる。収益減及び実際の分解の観点でコストが発生するだけでなく、検査及び試験自体が高コストである。しかしながら、検査、特に試験を実施できないと、重大な故障、 50

従ってより費用のかかる故障につながる可能性がある。すなわち、一般には、ターボ機械、発電機、及び同様のものは、極めて大きな負荷、過酷な動作環境、及び特定の構成部品の経時的劣化につながる状態に曝される。この劣化を検出できないと、機械故障を生じる場合がある。機械の重大な故障は、検査及び試験に伴うコストを遙かに上回ることになる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許第6,779,404号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

劣化を検出するのに利用される1つの方法は、システム構成部品の構造的完全性を試験することである。一般的には、構造的完全性の欠陥を検出するためには、オンライン振動監視が使用される。しかしながら、オンライン振動監視を用いると、振動の変化(増大又は減少)が、構造体にかかる負荷の変化の結果、構造体における予想される変化、又は構造劣化の結果であるか否かを判断することが困難な場合がある。構造的完全性試験の他のタイプは、モード振動試験を含む。

【0005】

構造体のモード振動試験には通常、試験される構造体を供用から取り外すことが必要とされる。このような試験技術では、駆動デバイスは構造体に恒久的に装着される。駆動デバイスは、構造体を機械的に励振するよう動作する。励振されると振動測定が行われ、ベースライン測定値に対して比較して、構造的完全性をチェックする。振動試験の更に他の形式は、振動アラームレベル及びシャットダウンレベルを設定することを含む。しかしながら、このようなシステムは、負荷変化の結果として生じる振動と、構造体の変化の結果として生じる振動とを区別することができない。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の1つの態様によれば、構造的完全性監視システムは、構造体と、該構造体に装着された少なくとも2つの振動監視デバイスとを含む。少なくとも2つの振動監視デバイスの各々は、振動応答信号を出力する。構造的完全性監視システムはまた、少なくとも2つの振動監視デバイスの各々に動作可能に接続されたコントローラを含む。コントローラは、振動モード形状及び振動応答信号に基づいて予測振動応答を計算するよう構成される。次に、コントローラは、測定振動応答に対して予測振動応答を比較し、構造体の変化を検出する。

30

【0007】

本発明の別の態様によれば、構造体の構造的完全性を判断する方法は、構造体から少なくとも1つのモード形状を測定する段階と、構造体に装着された少なくとも2つの振動センサから振動データを収集する段階と、測定された少なくとも1つのモード形状及び収集された振動データに基づいて構造体の予測振動応答を計算する段階と、予測振動応答を構造体の測定振動応答と比較して、比較因数を設定する段階と、比較因数に基づいて構造体の変化を検出し、該構造体の完全性を判断する段階と、該構造体の完全性をディスプレイ上にグラフィカルに示す段階と、を含む。

40

【0008】

これら及び他の利点並びに特徴は、図面を参照しながら以下の説明から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】例示的な実施形態による構造的完全性監視システムを含む発電機の右上斜視図。

【図2】図1の発電機の正面拡大図。

50

【図 3】例示的な実施形態による構造的完全性を監視する方法を示すフロー図。

【図 4】別の例示的な実施形態による構造的完全性を監視する方法を示すフロー図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明と見なされる主題は、本明細書と共に提出した特許請求の範囲に具体的に指摘し且つ明確に特許請求している。本発明の上記及び他の特徴並びに利点は、添付図面を参照しながら以下の詳細な説明から明らかである。

【0011】

この詳細な説明は、例証として図面を参照し、利点及び特徴と共に本発明の例示的な実施形態を説明している。

【0012】

図 1 から 2 を参照すると、発電機の形態で示された構造体が、全体的に参照符号 2 で示されている。勿論、構造体は様々な形態を取ることができる点は理解されたい。発電機 2 は、巻線終端部 8 を有するステータ 6 とロータ（図示せず）とが配列されたハウジング 4 を含む。ステータ 6 は、発電機 2 の作動中に生じる振動を検出するために巻線終端部に装着される複数の振動監視デバイス 20 ~ 25 を含む。追加の振動監視デバイス（図示せず）は、ステータ 6 の一部並びに発電機 2 の他の区域に装着される。

【0013】

各振動監視デバイス 20 ~ 25 は、少なくとも 1 つの振動センサを含む。図示の例示的な実施形態では、振動監視デバイス 20 は、第 1 の又は半径方向の振動センサ 30 と、第 2 の又は軸方向の振動センサ 31 とを含む。同様に、振動監視デバイス 21 は、半径方向振動センサ 34 及び軸方向振動センサ 35 を含み、振動監視デバイス 22 は、半径方向振動センサ 38 及び軸方向振動センサ 39 を含み、振動監視デバイス 23 は、半径方向振動センサ 42 及び軸方向振動センサ 43 を含み、振動監視デバイス 24 は、半径方向振動センサ 46 及び軸方向振動センサ 47 を含み、振動監視デバイス 25 は、半径方向振動センサ 50 及び軸方向振動センサ 51 を含む。振動監視デバイス 20 ~ 25 は、変位センサ、加速度計、歪みゲージ、速度センサ、及び同様のものの形態をとることができる。

【0014】

図示の例示的な実施形態において、発電機 2 は、ステータ 6 の構造的完全性をリアルタイムで監視する構造的完全性監視システム 60 を含む。勿論、構造的完全性監視システム 60 を利用して、他の区域すなわち発電機 2 の構成部品を監視することができる。構造的完全性監視システム 60 は、複数の振動監視デバイス 20 ~ 25 の各々に動作可能にリンクされたコントローラ 61 を含む。以下でより詳細に検討するように、コントローラ 61 は、ベースラインモード形状データ 64 及びリアルタイム振動監視データ 66 を受け取る。コントローラ 61 は、モード形状データ 64 及びリアルタイム振動監視データ 66 を利用して、巻線終端部 8 におけるステータ 6 の構造的完全性の表示 74 を決定することができる。構造的完全性の指標 74 は、構造的完全性監視システム 60 に動作可能に接続されたディスプレイ 78 に選択的に出力される。構造的完全性の表示 74 に基づいて、構造的完全性監視システム 60 は、アラーム 81 及び / 又はシャットダウンシステム 84 を作動させる。

【0015】

次に図 3 を参照するが、ここではステータ 6 の構造的完全性を判断するために構造的完全性監視システム 60 により利用される方法 200 を説明している。最初に、ブロック 204 において示すように、ステータ 6 についてのベースラインモード形状データ 64 が決定される。より具体的には、モード解析試験がステータ 6 に対して実施される。モード解析試験は、ステータ 6 を励振し、振動監視デバイス 20 ~ 25 で振動応答信号を測定することを含む。ステータ 6 は、計装用ハンマー又は既知の励振入力信号としての機能を果たす電磁もしくは油圧シェーカーで衝撃が加えられる。既知の励振入力信号（ハンマー又はシェーカーからの力）及び振動監視デバイス 20 ~ 25 にて測定される振動応答信号の両方は、時間領域で測定される。信号は、高速フーリエ変換（FFT）を用いて周波数領域に変

10

20

30

40

50

換されて分割され（応答／入力）、各振動監視デバイス 20～25 についての伝達関数を生成する。標準モード解析法を用いると、固有周波数及びモード形状が伝達関数から抽出される。固有周波数及びモード形状は、構造的完全性監視システム 60 にモード形状データ 64 として入力される。

【 0 0 1 6 】

ブロック 204 においてベースラインデータが得られると、ブロック 206 において示すように、発電機 2 は供用状態にされ、振動信号が振動監視デバイス 20～25 を通じてリアルタイムで取り込まれる。検知される振動は、ブロック 208 で示されるような負荷状態、及びブロック 210 で示されるような、ロータ不均衡又は他の隣接構成部品から伝達される振動に起因する力などの他の外的影響に基づいている。ブロック 220 で示すように振動信号が測定され、ブロック 230 で示すように、振動信号に対して 1 つずつ予測が実施される。1 つずつの予測は、下記の式 1.1 に概説する行列の列 [u] と行 [v] を 1 つずつ消去することにより、複数の振動監視デバイス 20～25 の各々について予測振動レベルを計算する。係数 [C] の新しい集合は、行列の残りの成分に基づいて計算される。新しい係数 [C] は、行列 [u] における各モードによる寄与の予測である。係数 [C] の新しい集合は、特定の振動監視デバイス 20～25、すなわち消去された特定の成分 [v] についての振動レベルを予測するのに使用される。次いで、予測値は、ブロック 220 における振動レベルに対する対応する測定モード形状データと比較し、比較因子を求める。消去される各成分 [v] の振動レベルを予測するためにモード形状データを使用することは、構造体のモード形状が変化していない限り、外部状態から加えられるあらゆる負荷又はあらゆる励振について有効である。何れかのセンサでの振動レベルと、当該センサでの測定振動レベルとの間の有意な差違は、構造体のモード形状が変化し、構造体に変化が生じたことを示す場合にだけ起こることができる。この方法は、構造的完全性のリアルタイムの連続した監視を可能にする。リアルタイムで構造的完全性を監視することによりあらゆる変化が早期に検出され、必要とされる何れかのメンテナンス問題への迅速な対応が可能になる。

【 0 0 1 7 】

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} & \dots & u_{2n} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & u_{34} & \dots & u_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m1} & u_{m2} & u_{m3} & u_{m4} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ \dots \\ C_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \dots \\ v_m \end{bmatrix}$$

【 0 0 1 8 】

すなわち、

【 0 0 1 9 】

【 数 2 】

$$[u] \times [C] = [v]$$

式 1. 1

【 0 0 2 0 】

式 1. 1

比較因子は、評価するためにディスプレイ 78 にグラフィカルに出力される。比較因子が、予測値と対応する測定振動データとの不一致を示す場合には、測定モード形状はもは

や、ステータ6の構造的完全性が変化したことを示す実際の振動応答を表していない。構造的完全性の変化を検出すると、構造的完全性監視システム60がアラーム81に信号を送信する。構造的完全性の変化が所定値を上回る場合、構造的完全性監視システム60は、発電機2の作動を停止するようシャットダウンシステム84に信号を送信する。アラーム又はシャットダウンの何れかを示す所定値は、監視している特定の構造体、作動状態、経験内容、正常な変化、及び測定振動信号におけるノイズに基づいている。

【0021】

次に図4を参照するが、ここでは、別の例示的な実施形態に従ってステータ6の構造的完全性を判断するために構造的完全性監視システム60により利用される方法300を説明している。上述と同様にして、ブロック304で示すように、ステータ6についてのベースラインモード形状データ64が決定される。より具体的には、モード解析試験がステータ6に対して実施される。しかしながら、上記で行ったモード解析試験とは異なり、例示的な実施形態によるモード解析試験は、発電機2の作動上の振動を利用した。より具体的には、外部励振力の代わりに、発電機2が始動されると、ブロック306に示す負荷力及びブロック308に示す他の外的影響が、ブロック310で示すように振動監視デバイス20~25により検出される。振動監視デバイスは、ブロック320で示すように、時間領域で測定された振動応答信号を出力する。この信号は、高速フーリエ変換(FFT)を用いて周波数領域に変換される。標準出力単独モード解析法を用いると、固有周波数及びモード形状が測定された振動レベルから抽出される。固有周波数及びモード形状は、構造的完全性監視システム60にモード形状データ64として入力される。

10

20

【0022】

ブロック304においてベースラインデータが得られると、発電機2は供用状態にされ、310において示すように、振動信号が振動監視デバイス20~25を通じてリアルタイムで取り込まれる。上述と同様の様態で、検出される振動は、ブロック306で示されるような負荷状態、及びブロック308で示されるような他の外的影響に基づいている。ブロック320で示すように振動信号が測定され、ブロック330で示すように、振動信号に対して1つずつ予測が実施される。上述と同様の様態で、1つずつの予測は、式1に概説する行列の列 $[u]$ と行 $[v]$ を1つずつ消去することにより、複数の振動監視デバイス20~25の各々について予測振動レベルを計算する。係数 $[C]$ の新しい集合は、行列の残りの成分に基づいて計算される。新しい係数 $[C]$ は、行列 $[u]$ における各モードによる寄与の予測である。この係数の新しい集合は、特定の振動監視デバイス20~25、すなわち消去された特定の成分 $[v]$ についての振動レベルを予測するのに使用される。次いで、予測値は、ブロック320における対応する測定振動レベルと比較し、比較因数を求める。

30

【0023】

比較因子は、評価するためにディスプレイ78にグラフィカルに出力される。比較因子が、予測値と対応する測定振動レベルデータポイントとの不一致を示す場合には、測定モード形状はもはや、ステータ6の構造的完全性が変化したことを示す実際の振動応答を表していない。構造的完全性の変化を検出すると、構造的完全性監視システム60がアラーム81に信号を送信する。構造的完全性の変化が所定値を上回る場合、構造的完全性監視システム60は、発電機2の作動を停止するようシャットダウンシステム84に信号を送信する。

40

【0024】

この時点で、例示的な実施形態は、定常状態の動的力又は過渡的な動的力の何れかに曝される構造体に関するリアルタイムの構造的完全性監視を可能にするシステム及び方法を提供する点に留意されたい。モード形状を構造モデルとして利用することによって、負荷状態及び同様のものに起因する外部振動が除去され、構造的完全性監視システム60が、作動中の構造体の構造的完全性の変化を監視できるようになり、運用コスト及びメンテナンスコスト両方の節減をもたらす。また、発電機構成部品の構造的完全性の試験に関して図示し説明したが、構造的完全性監視システム60は、広範囲の構造体に関して利用でき

50

る点を理解されたい。

【 0 0 2 5 】

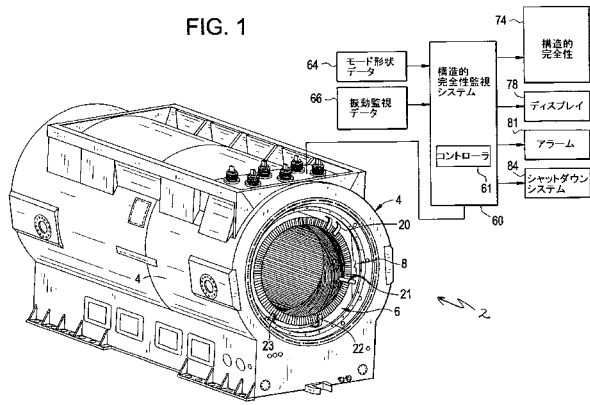
限られた数の実施形態のみに関して本発明を詳細に説明してきたが、本発明はこのよう
な開示された実施形態に限定されないことは理解されたい。むしろ、本発明は、上記で説
明されていない多くの変形、改造、置換、又は均等な構成を組み込むように修正すること
ができるが、これらは、本発明の技術的思想及び範囲に相応する。加えて、本発明の種々
の実施形態について説明してきたが、本発明の態様は記載された実施形態の一部のみを含
むことができる点を理解されたい。従って、本発明は、上述の説明によって限定されると
見なすべきではなく、添付の請求項の範囲によってのみ限定される。

【 符号の説明 】

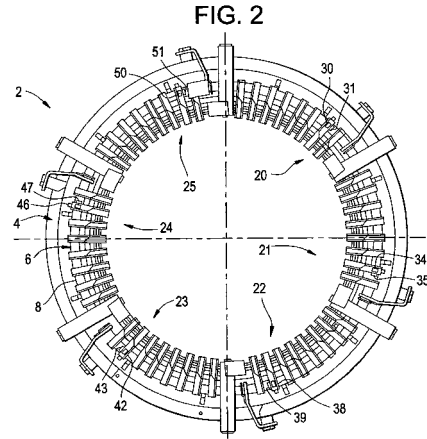
【 0 0 2 6 】

1	構造体	
2	発電機	
4	ハウジング	
6	ステータ	
8	巻線終端部	
2 0	振動監視デバイス	
2 1	振動監視デバイス	
2 2	振動監視デバイス	
2 3	振動監視デバイス	20
2 4	振動監視デバイス	
2 5	振動監視デバイス	
3 0	第 1 の又は半径方向の振動センサ	
3 1	第 2 の又は軸方向の振動センサ	
3 4	第 1 の又は半径方向の振動センサ	
3 5	第 2 の又は軸方向の振動センサ	
3 8	第 1 の又は半径方向の振動センサ	
3 9	第 2 の又は軸方向の振動センサ	
4 2	第 1 の又は半径方向の振動センサ	
4 3	第 2 の又は軸方向の振動センサ	30
4 6	第 1 の半径方向振動センサ	
4 7	第 2 の軸方向振動センサ	
5 0	第 1 の半径方向振動センサ	
5 1	第 2 の軸方向振動センサ	
6 0	構造的完全性監視システム	
6 1	コントローラ	
6 4	モード形状データ	
6 6	振動監視データ	
7 4	構造的完全性表示	
7 8	ディスプレイ	40
8 1	アラーム	
8 4	シャットダウンシステム	

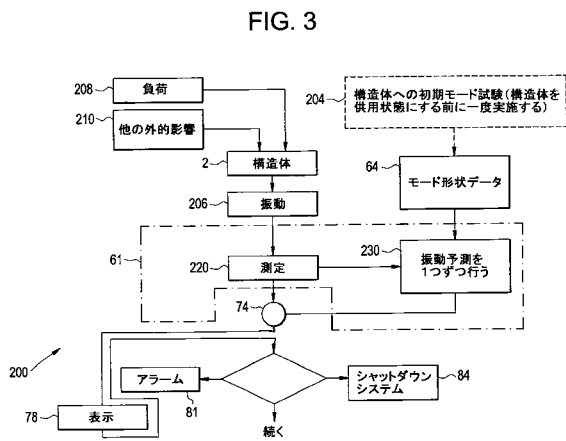
【 図 1 】



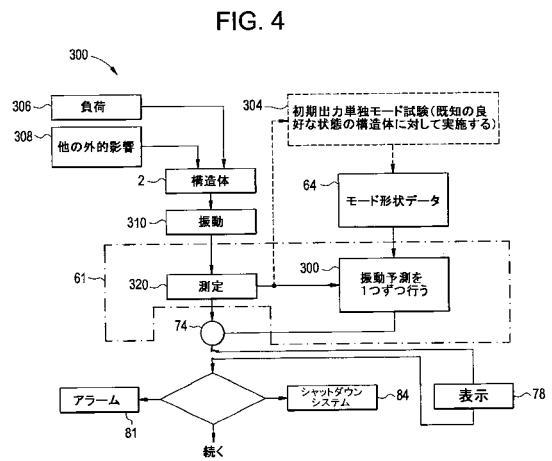
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 ゲーリー・ランドール・バーンズ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ディランソン、スカイライン・ドライブ、6 6 9 3 番

(72)発明者 ピーター・アンソニー・ディロレンゾ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、チャールトン、オールド・ステージ・ロード、2 6 番

Fターム(参考) 2G064 AB01 AB02 AB22 BA02 CC29 CC43