

## 2.2.2 風力発電施設から発生する低周波音の測定手法の検討

風車から数百m離れた測定点では、風車音自体の変動分と伝搬過程で生じる変動分、更には測定点近傍で発生する風雑音や一過性の騒音等が重なり合ったものが観測される。したがって、受信点で観測されたデータから統計的な手法等によりこれらを分離することは非常に難しい。その一方で、前項の2.2.1で示したように、風車音には超低周波音成分から可聴音成分まで幅広い周波数成分が含まれることが明らかになった。

そこで、地方委託業務で測定されたデータをもとに、風力発電施設から発生する低周波音の測定データの整理方法について検討した。

「10 秒間 Leq」を連続的に測定した愛知県のデータをもとに、「1 分毎の 10 秒間 Leq の最小値」及び「1 分間 Leq」を計算し、風雑音や一過性の騒音等による影響や、これらの値が風車音の評価値としてどのようなことを意味するのかについて検討した。

また、諸外国において風車音の評価指標として採用されている統計値「Lx; L5, L10, L50, L90, L95」を風車音の測定データから算出し、個々の統計値の変動傾向を把握するとともに、これらの値と上記の等価音圧レベル「Leq」との関連性について検討した。

### (1) 短時間の等価音圧レベルによるデータ整理方法の検討

風車から数百 m 離れた受信点側の測定点では、風車からの発生音は距離減衰により音圧レベルが低下し、マイクロホン周辺の風雑音や暗騒音、自動車通過音等の一過性の騒音等の影響を受けやすくなる。

国内の文献調査(2.2.3 参照)によれば、「10 秒間 Leq」を連続的に測定し、「10 秒間 Leq の 1 分毎の最小値」を求めることにより、風雑音や一過性の騒音による影響を軽減できるとしている(文献 No.9)。また、同じ文献で、これらの影響が非常に少ない場所では「1 分間 Leq」を連続的に測定することによっても、風車音のレベル変動特性を把握できるとしている。

そこで、「10 秒間 Leq」を連続的に測定している愛知県のデータを用いて、「10 秒間 Leq の 1 分毎の最小値」及び「1 分間 Leq」を計算し、「10 秒間 Leq」測定値と比較することにより、データ整理の仕方による影響について検討した。

結果を図 2.2.2.1 ~ 図 2.2.2.18 に示す。

- ・ 図 2.2.2.1 ~ 図 2.2.2.3 発生源近傍 ( 距離 125m )、10 秒間 Leq の最小値
- ・ 図 2.2.2.4 ~ 図 2.2.2.6 発生源近傍 ( 距離 125m )、1 分間 Leq
- ・ 図 2.2.2.7 ~ 図 2.2.2.9 住宅外、10 秒間 Leq の最小値
- ・ 図 2.2.2.10 ~ 図 2.2.2.12 住宅外、1 分間 Leq
- ・ 図 2.2.2.13 ~ 図 2.2.2.15 住宅内、10 秒間 Leq の最小値
- ・ 図 2.2.2.16 ~ 図 2.2.2.18 住宅内、1 分間 Leq

図より、「10秒間Leqの1分毎の最小値」を用いた場合も「1分間Leq」を用いた場合も風車音の変動の様子を上手く捉えていることがわかる。

このうち、「10秒間Leqの1分毎の最小値」を用いた場合には、「10秒間Leq」の変動の下限を取っており、レベル変動の下限値を捉えるのに有効な整理方法と考えられる。

一方、「1分間Leq」は「10秒Leq」の平均的な値を捉えている。しかし、測定点の周りで発生する風雑音や、風車音と関係のない車の通過音や鳥の鳴き声等の一過性の騒音による突発的な音圧レベルの上昇がある場合には、1分間Leqの値がそれらに押し上げられ、風車音のレベルを正確に把握できない可能性がある(例えば、図2.2.2.10の1Hz、図2.2.2.11の500Hz、図2.2.2.17の2kHz参照)。

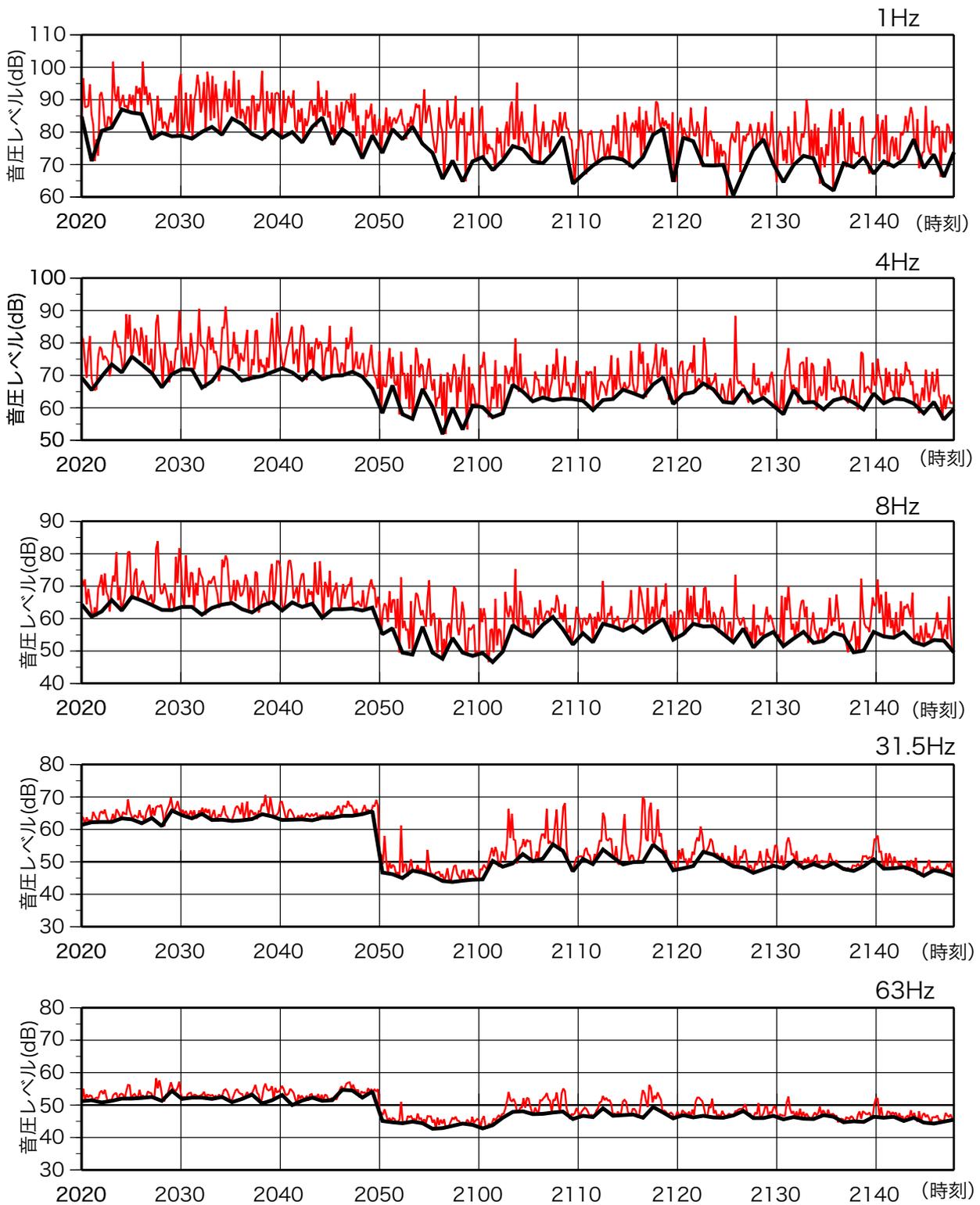
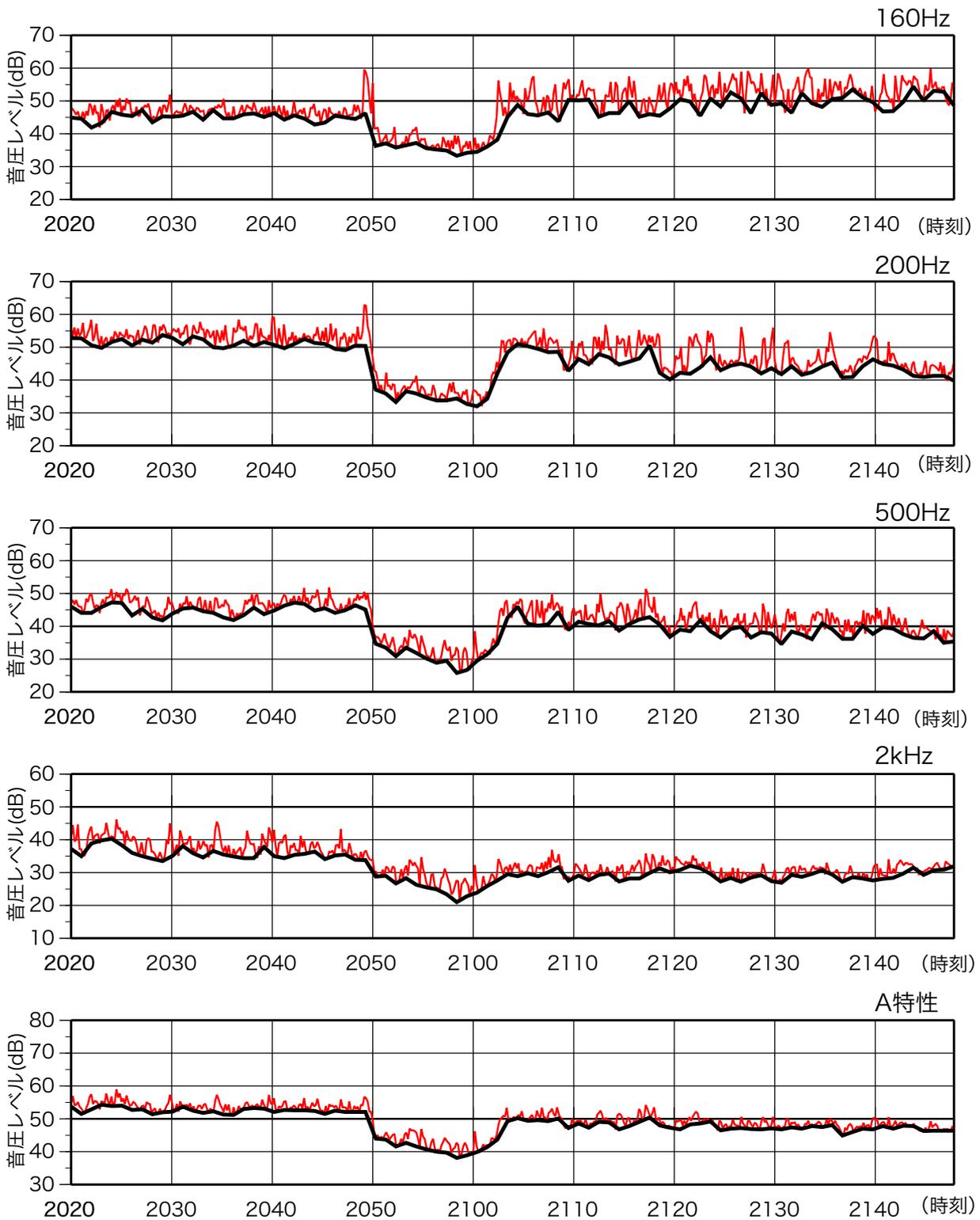


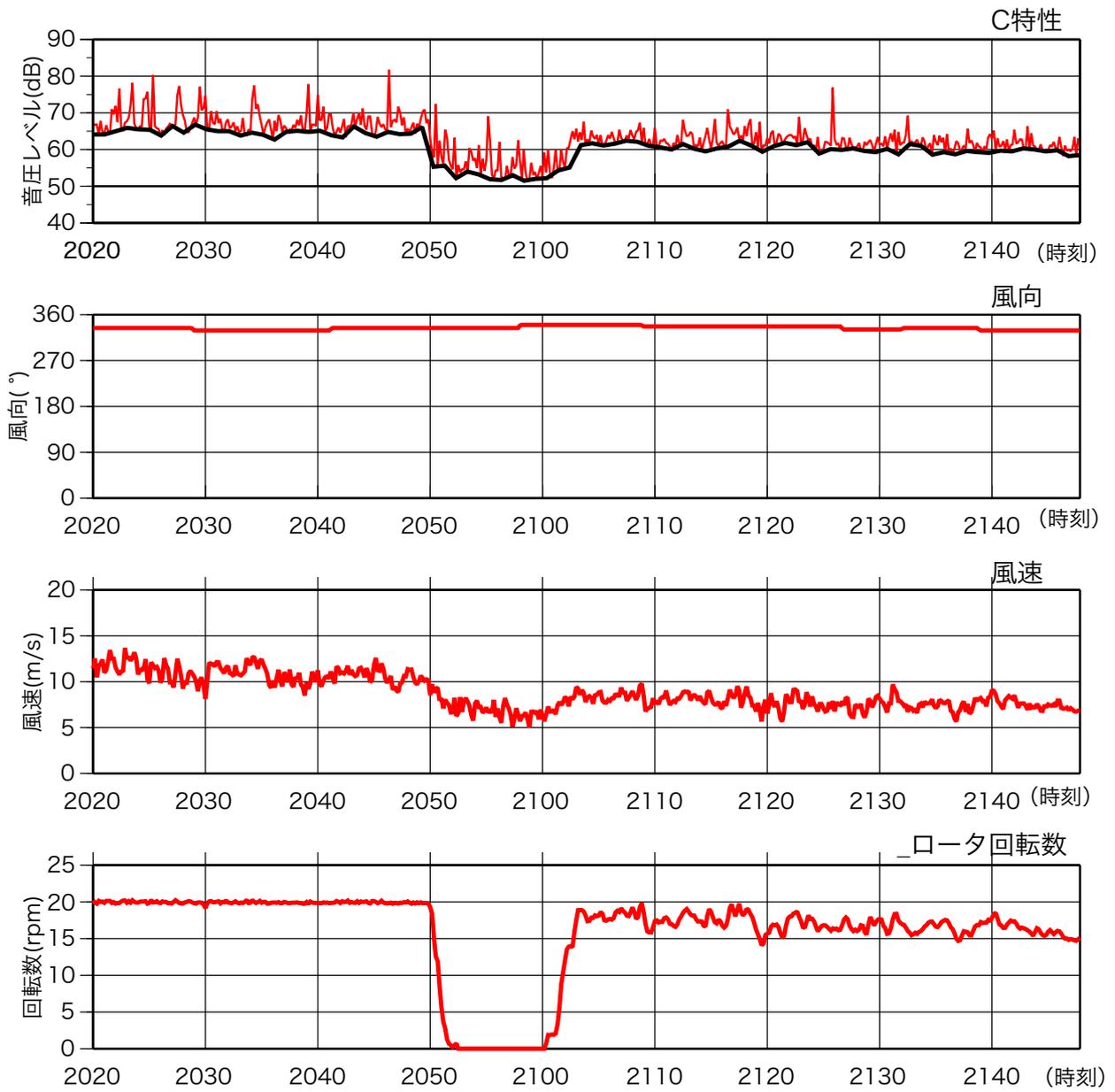
図2.2.2.1 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、風車近傍、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-



2

図2.2.2.2 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、風車近傍、2009.11.11夜測定)

-10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-



3

図2.2.2.3 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、風車近傍、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-

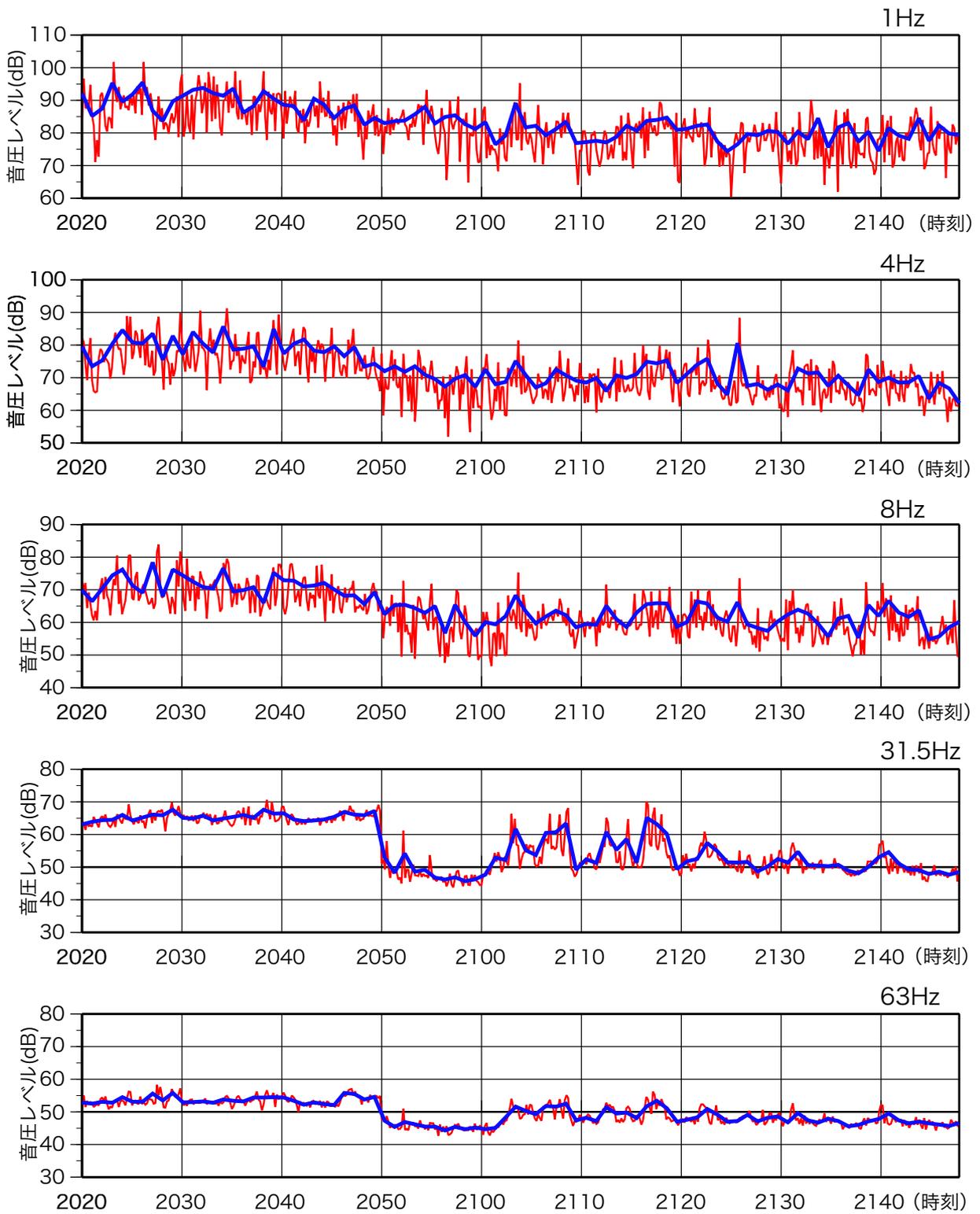


図2.2.2.4 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、風車近傍、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

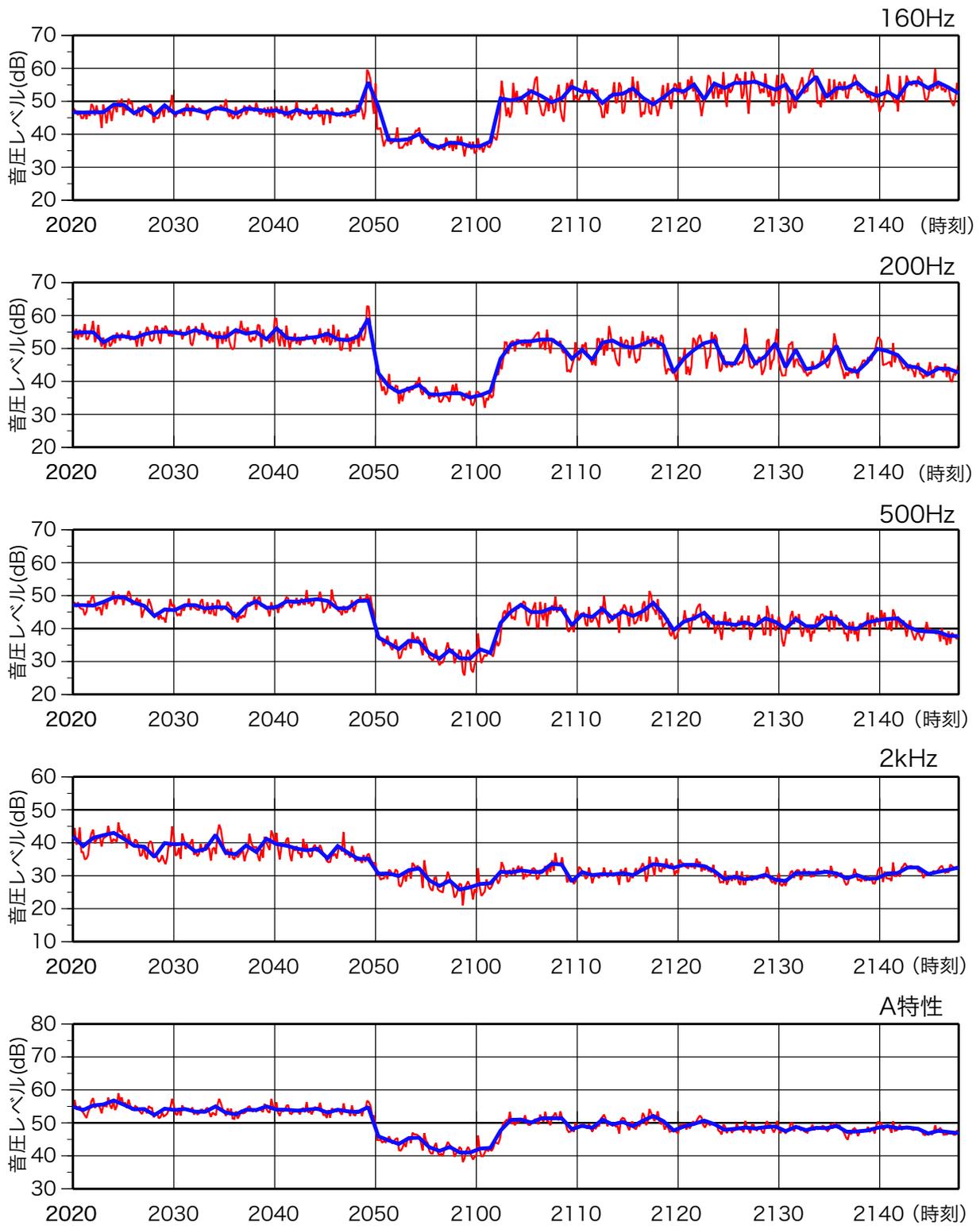


図2.2.2.5 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、風車近傍、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

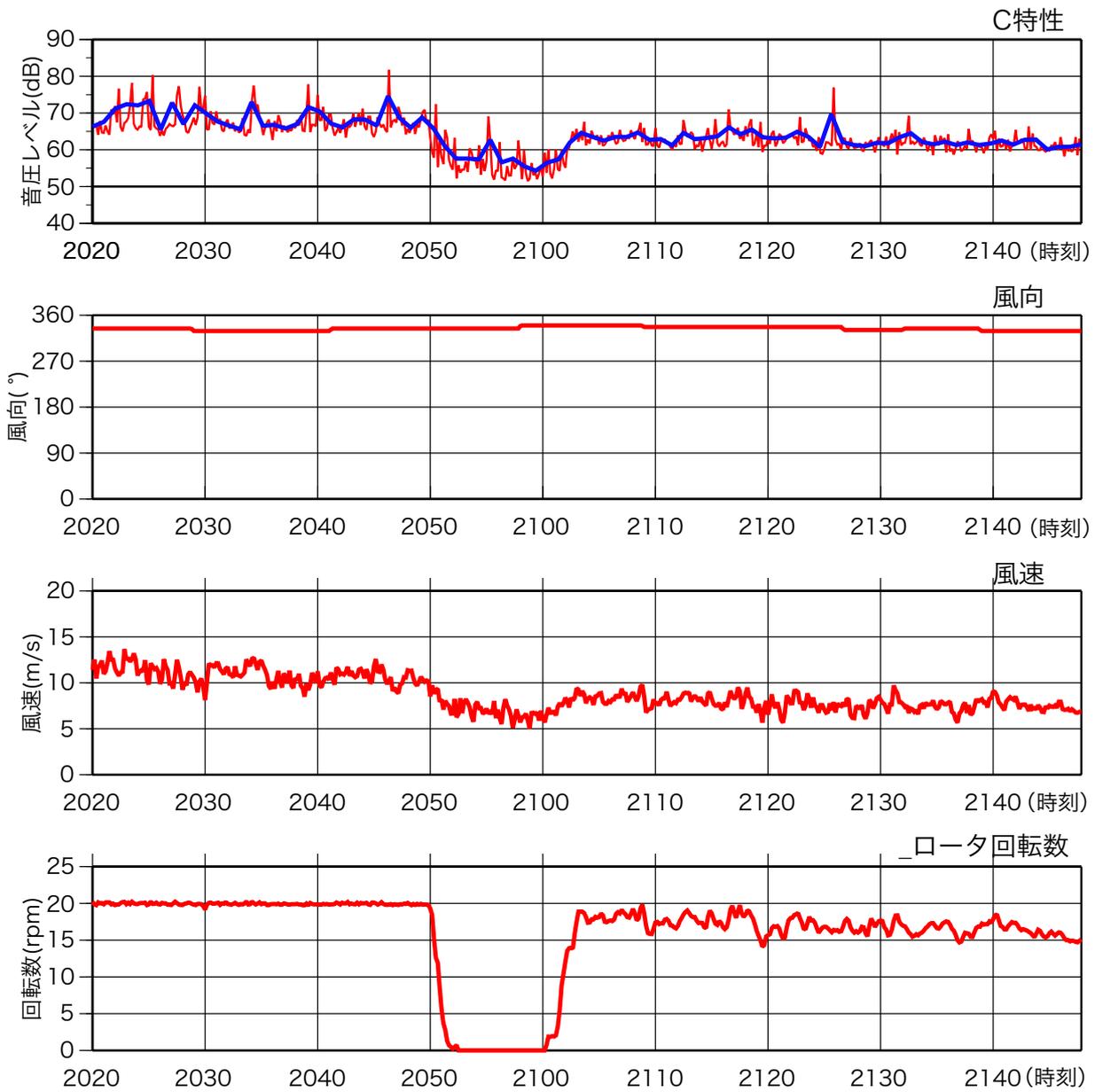


図2.2.2.6 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、風車近傍、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leq (赤線) の変動と1分間Leq (青線) との比較-

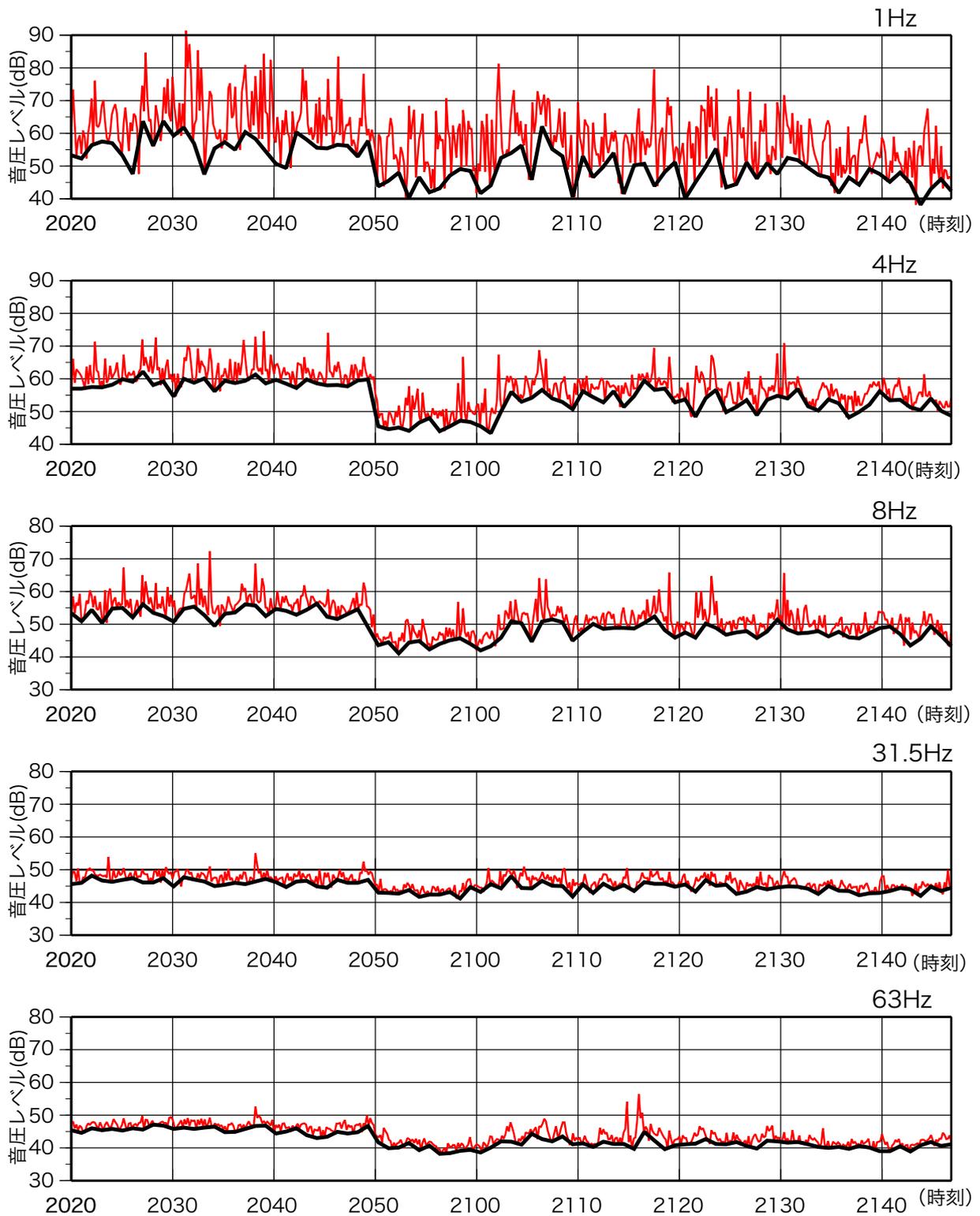


図2.2.2.7 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅外、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-

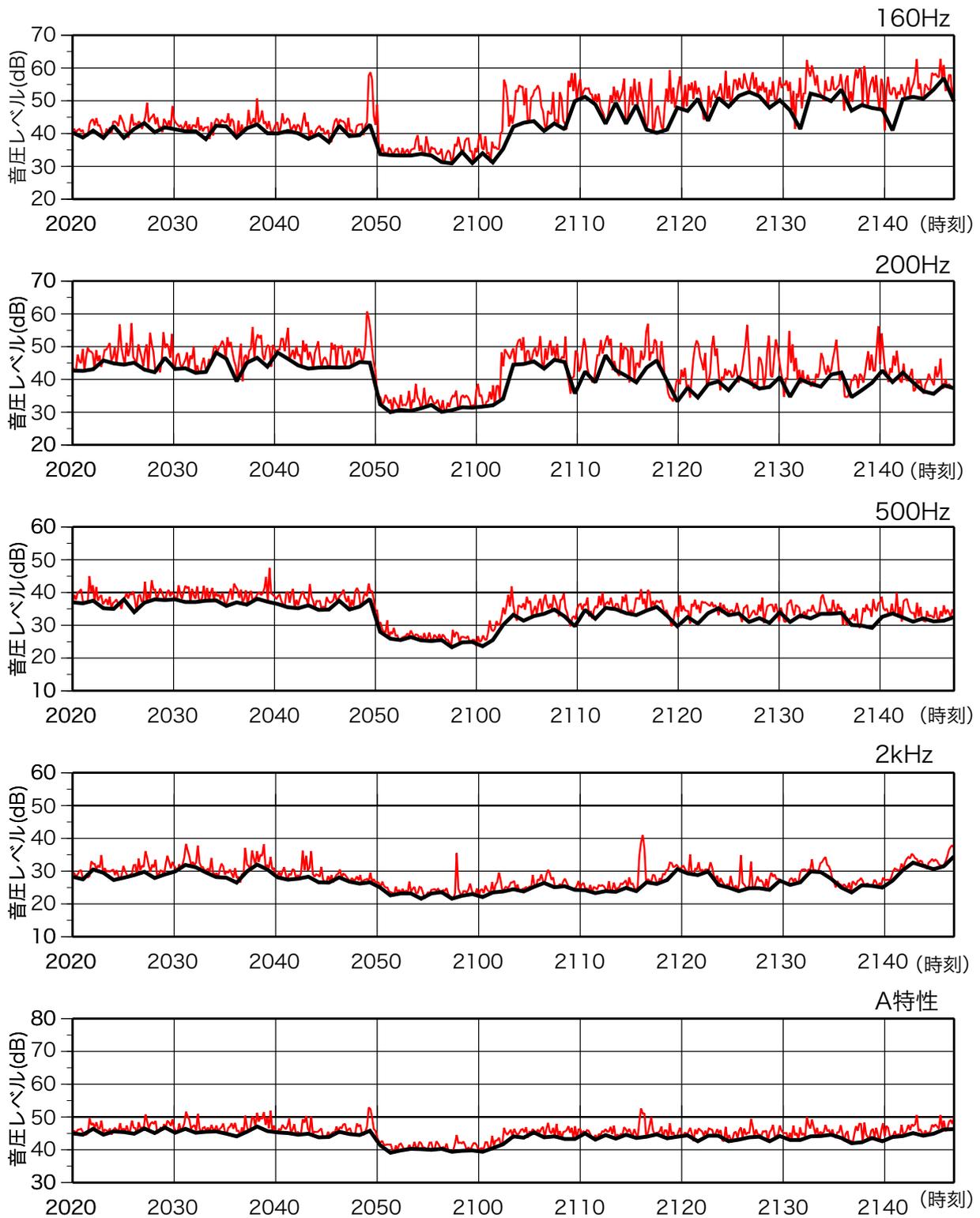


図2.2.2.8 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅外、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-

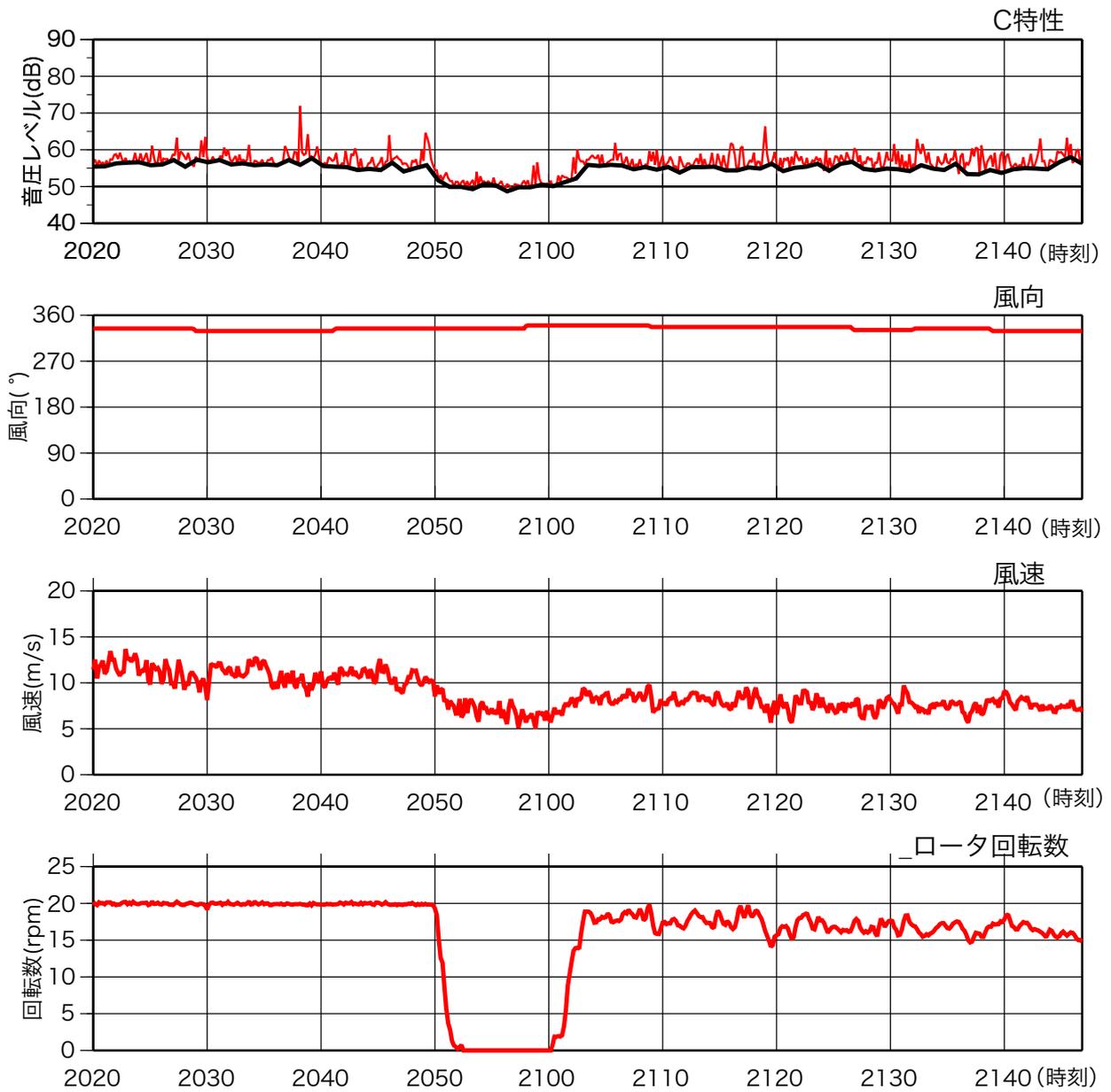


図2.2.2.9 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅外、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-

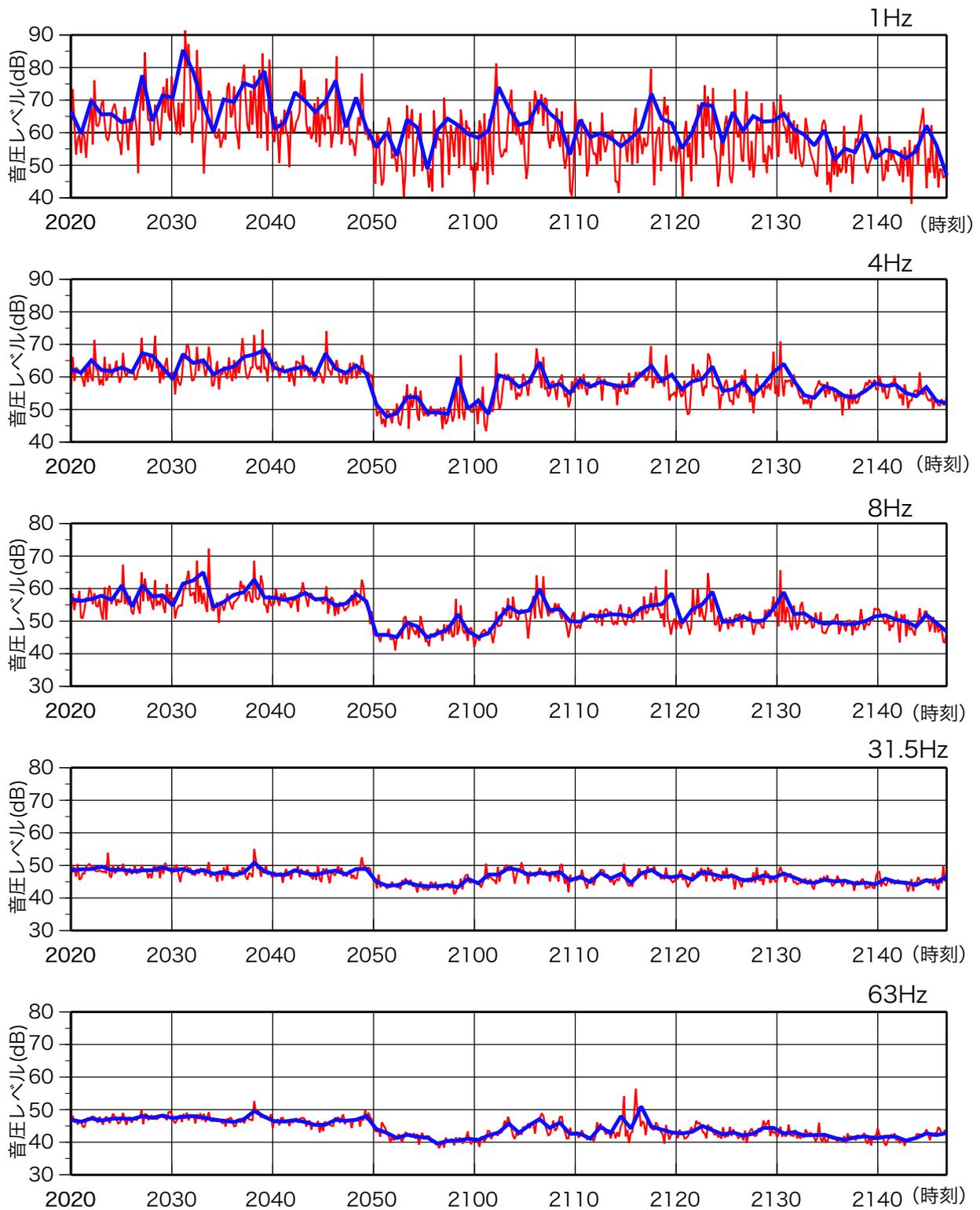


図2.2.2.10 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅外、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leq (赤線) の変動と1分間Leq (青線) との比較-

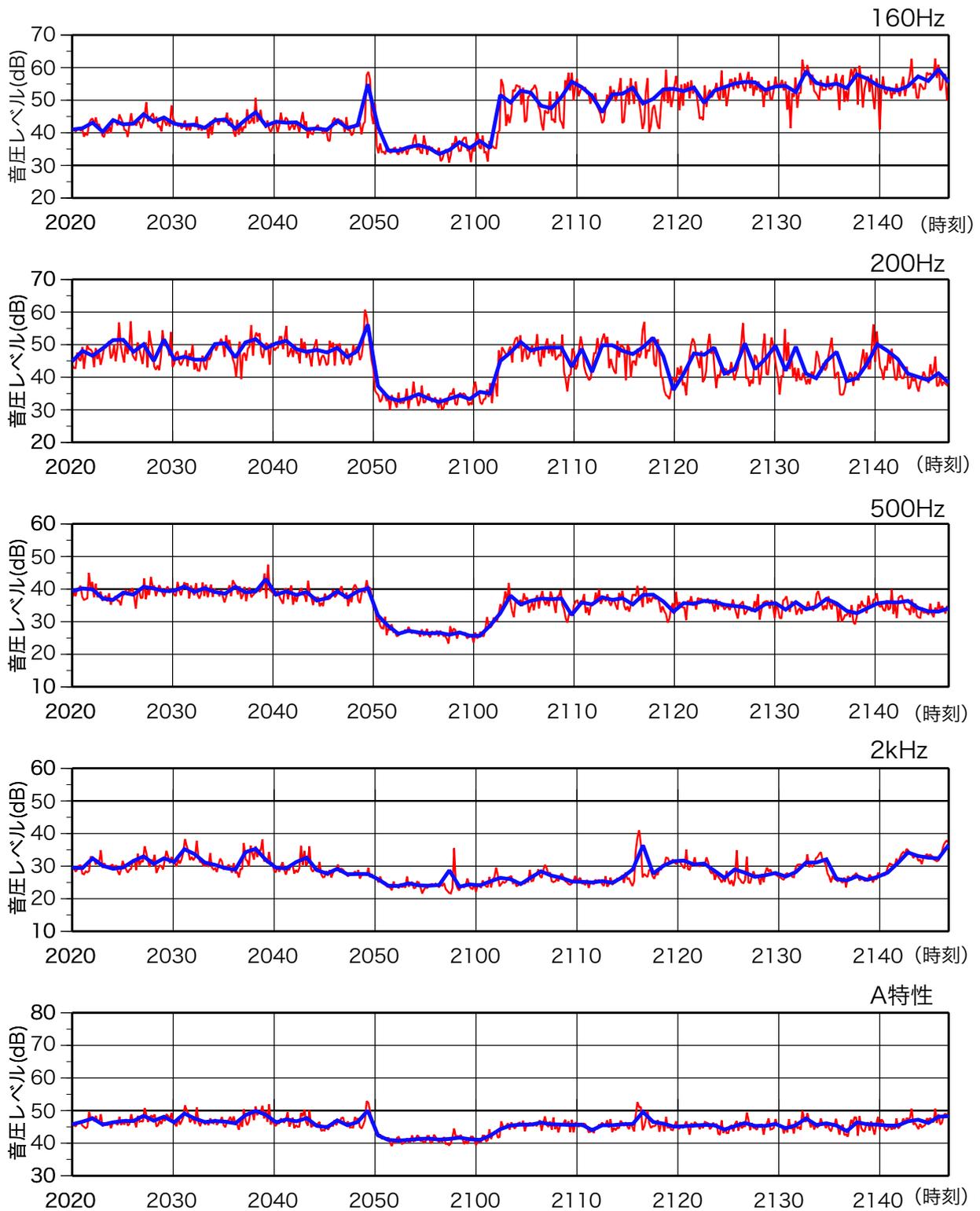


図2.2.2.11 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅外、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

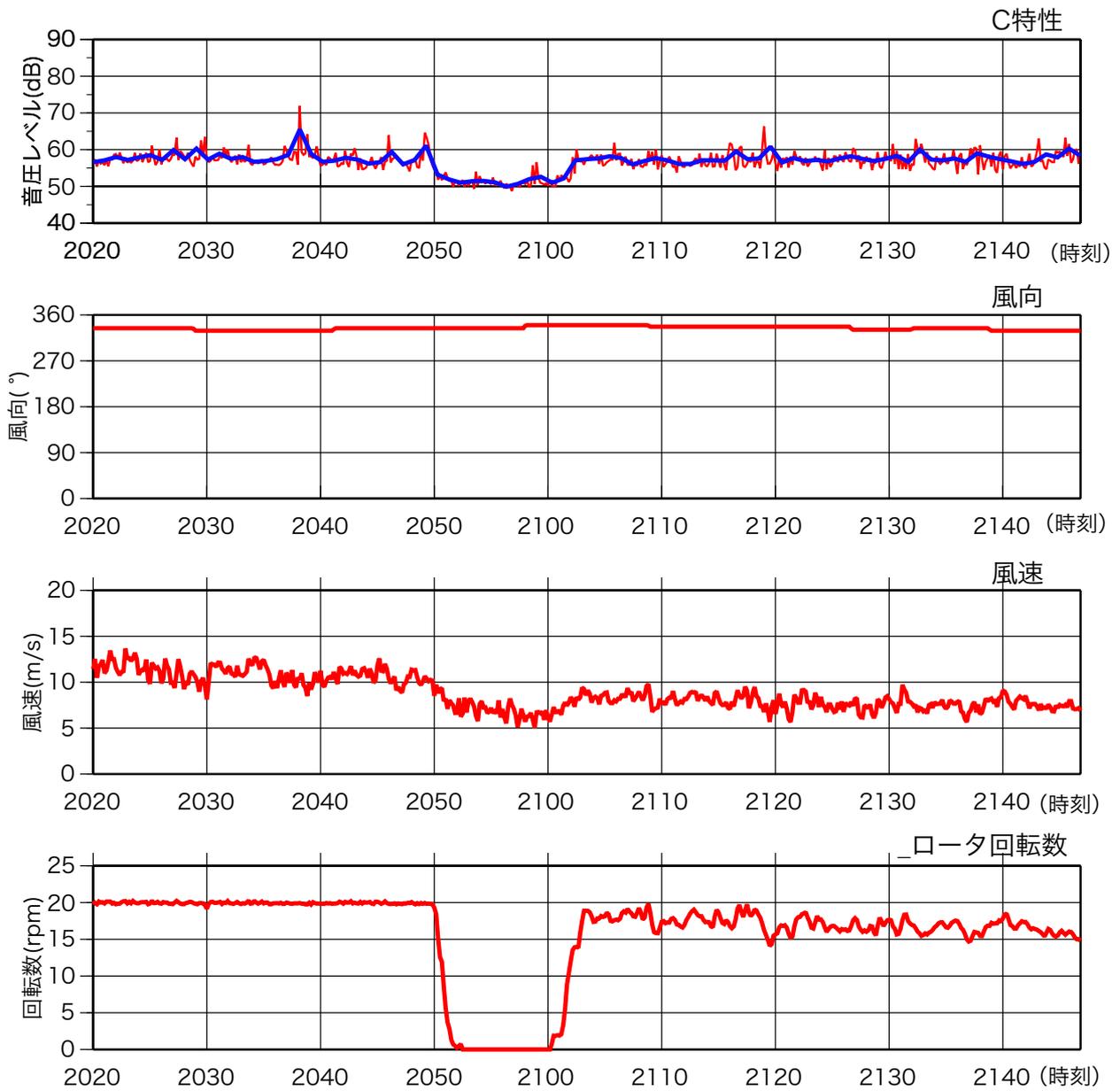


図2.2.2.12 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
(田原市、住宅外、2009.11.11夜測定)

-10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

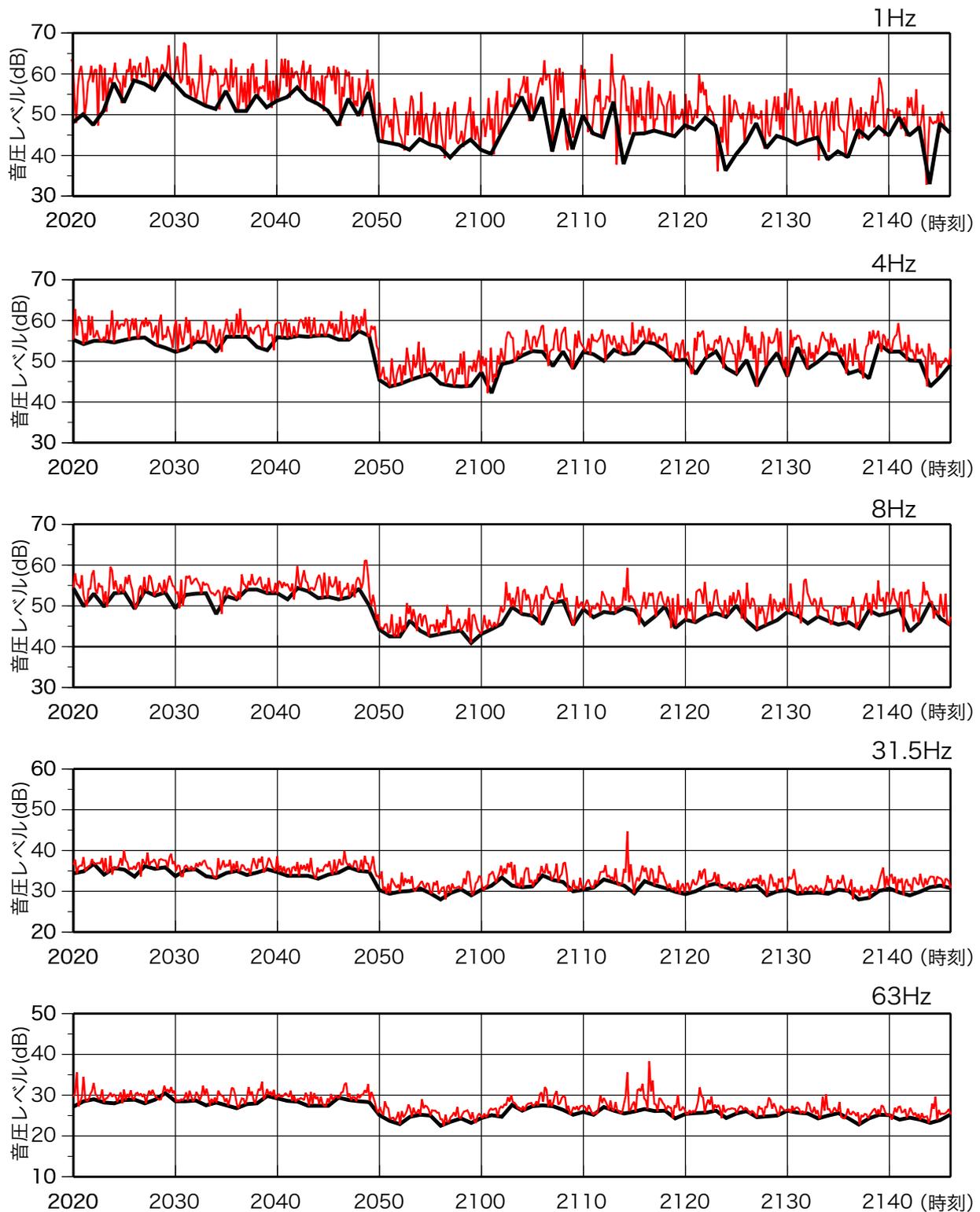


図2-2-2-13 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
(田原市、住宅内、2009.11.11夜測定)

-10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-

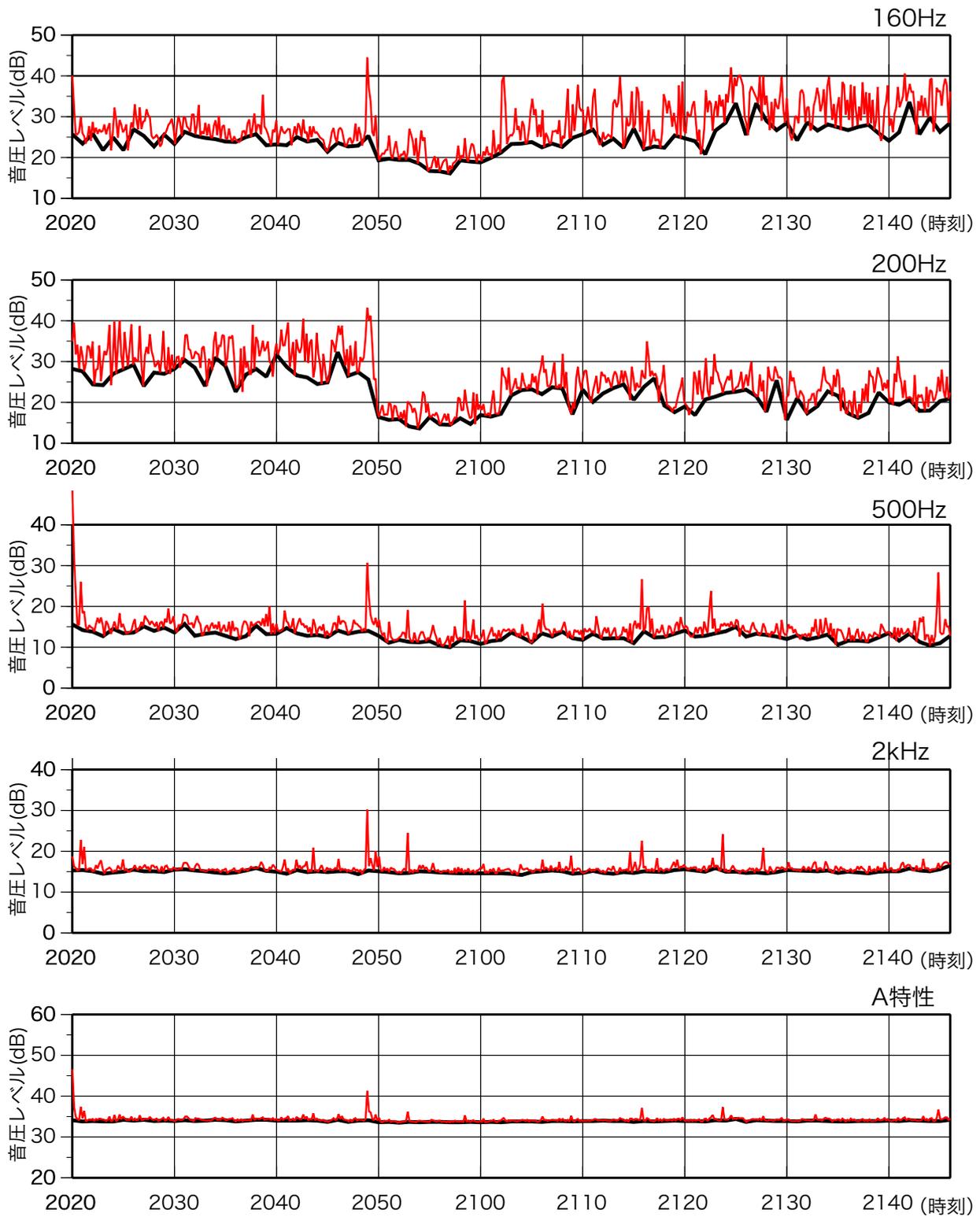


図2-2-2-14 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
(田原市、住宅内、2009.11.11夜測定)

-10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間における10秒間Leqの最小値 (黒線) との比較-

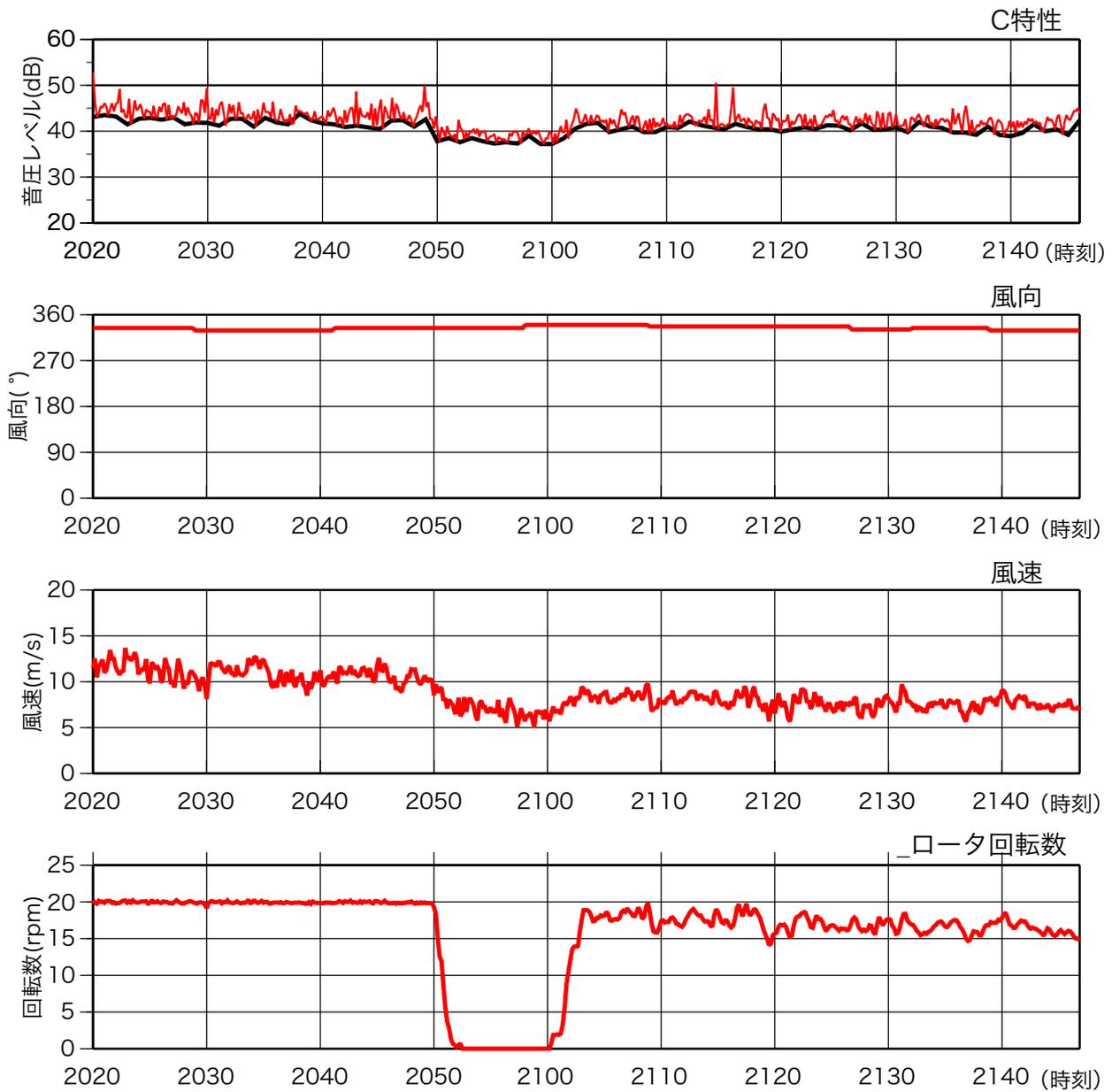


図2-2-2-15 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅内、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間  $L_{eq}$ の変動(赤線)と1分間における10秒間  $L_{eq}$ の最小値(黒線)との比較-

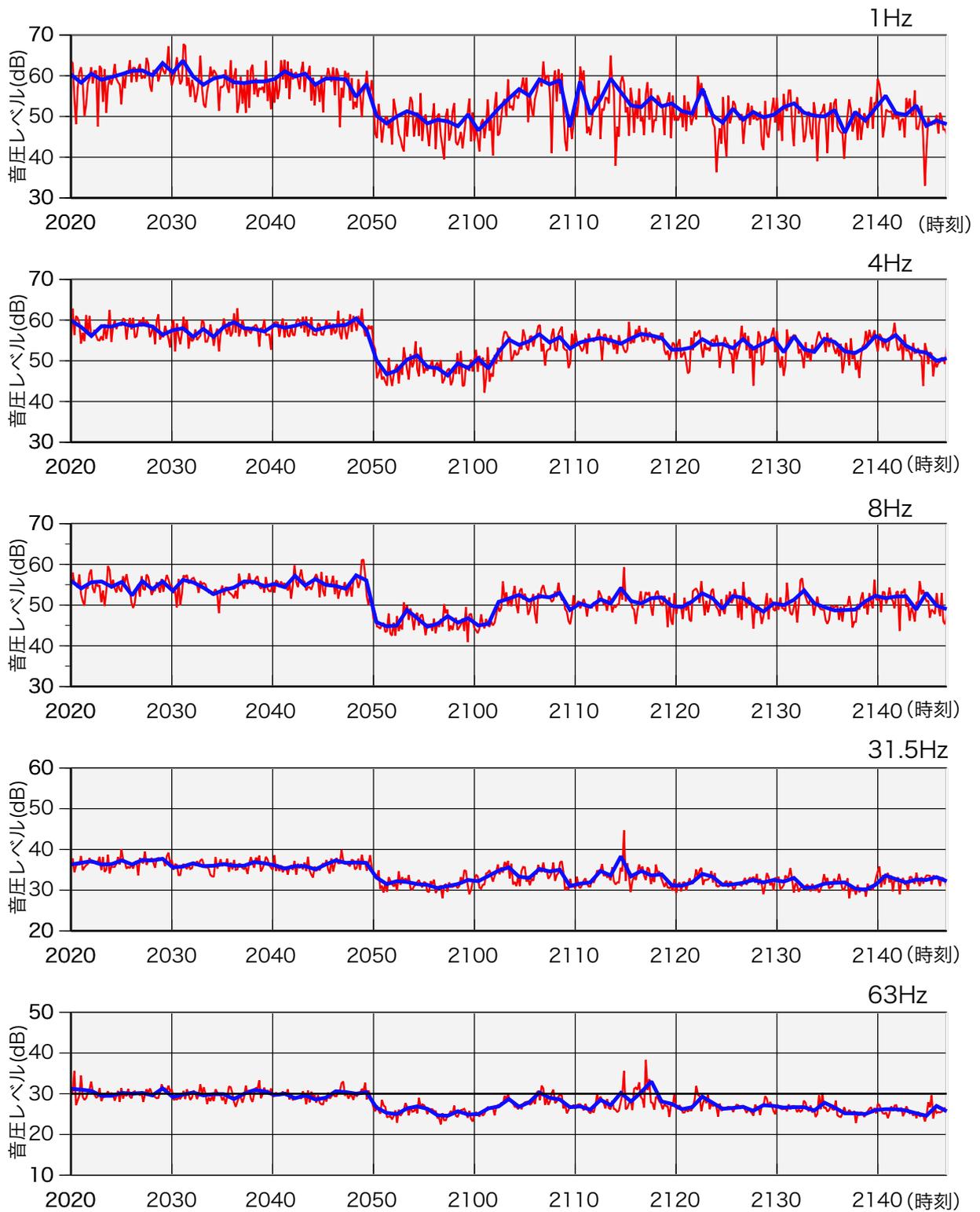


図2-2-2-16 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅内、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

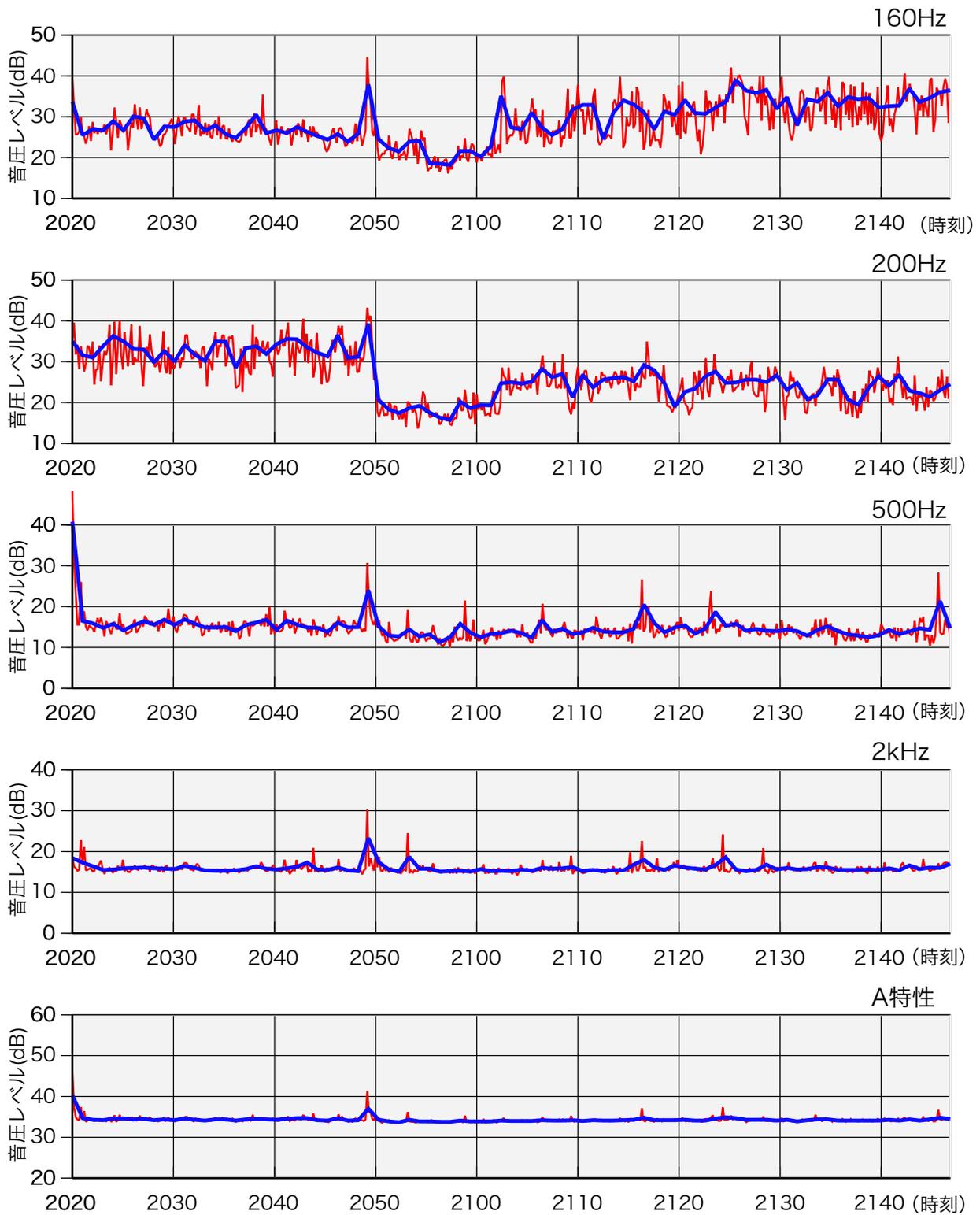


図2-2-2-17 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅内、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

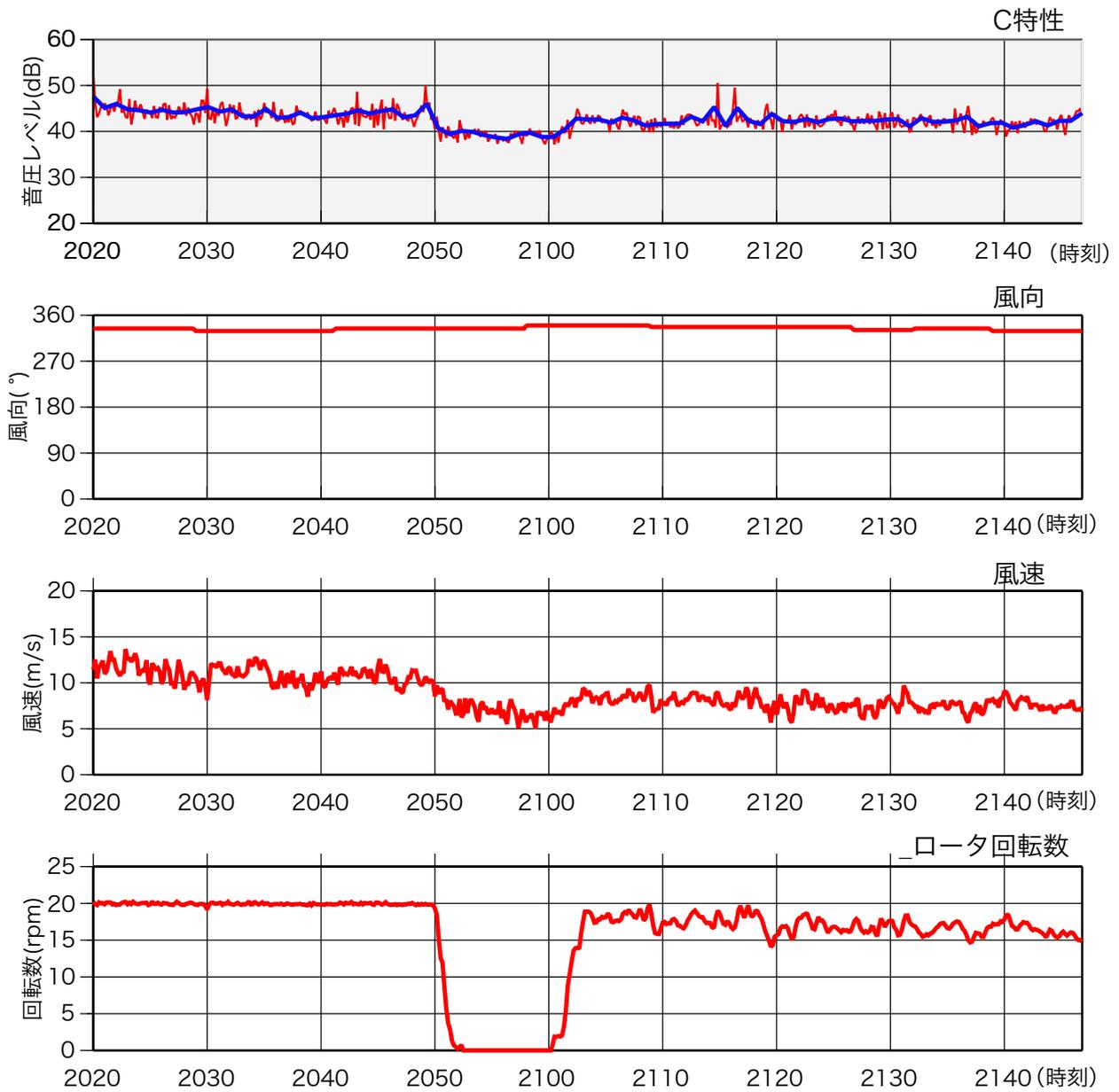


図2-2-2-18 周波数別音圧レベル時間変動と風向・風速・ロータ回転数の時間変化  
 (田原市、住宅内、2009.11.11夜測定)  
 -10秒間 Leqの変動 (赤線) と1分間Leq (青線) との比較-

## (2) 統計値によるデータ整理方法の検討

諸外国の文献調査(2.2.4 および巻末資料参照)によれば、ニュージーランド等で LA90 (LA95 への変更も公表済)、米国オレゴン州やミネソタ州等で LA50 や LA10 が評価指標として採用されている。

そこで、「0.1 秒毎の瞬時値」と「10 秒間 Leq(Leq,10s)」を連続的に測定している千葉県 の 10 分間データを用いて、「10 分間 Leq」、「10 秒間 Leq の 1 分毎の最小値 [Lmin.1m(Leq,10s)] の平均値」及び「10 秒間 Leq の 10 分毎の最小値 [Lmin.10m(Leq,10s)]」を「統計値 (Lx)」と比較することにより、データ整理の仕方による影響について検討した。このうち、「10 秒間 Leq の 10 分毎の最小値」は、「10 秒間 Leq の 1 分毎の最小値の平均値」とともに、風雑音や一過性の騒音による影響を軽減できるとしている(2.2.3、文献 No.9 参照)。

なお、統計値 (Lx) のうち、L50 (中央値) とは変動する音のデータを小さい順に並べたときに「中央に位置する値」、L10 (80%レンジの上端値) とは、L50 を基準に上下 80% の範囲の上端の値、L90 (80%レンジの下端値) とは、同じ 80% の範囲の下端値である。

L10 は観測時間中の音圧レベルの大きめの値を、L90 は背景的な値を示す。したがって、L90 の値は一般的に「一過性の音圧レベル上昇」の影響を受けにくい。

### ) 低周波音に関する検討

低周波音の周波数分析結果を図 2.2.2.19 ~ 図 2.2.1.21 に示す。

- ・ 図 2.2.2.19 低周波音の周波数分析結果 (風車から 100m 地点)  
Leq と Lx の比較
- ・ 図 2.2.2.20 低周波音の周波数分析結果 (風車から 200m 地点)  
Leq と Lx の比較
- ・ 図 2.2.2.21 低周波音の周波数分析結果 (風車から 400m 地点)  
Leq と Lx の比較

### ア. 暗騒音の影響、風の影響

出力 1500kW の風車の風下 100m 地点 (基準距離) については暗騒音の影響を概ね無視できるが、200m 地点及び 400m 地点については、10 ~ 80Hz 帯域に

において暗騒音の影響が見られる（図 2.2.2.20、図 2.2.2.21 参照）。また、400m 地点の FLAT 及び 1～8Hz 帯域はマイクロホン近傍における風の影響を受けている（図 2.2.2.21 参照）。

暗騒音の影響や風の影響は、L5, L10, Leq において大きく現れている

#### イ. 10 分間 Leq(Leq,10m)

100m 及び 200m 地点では、Leq,10m は L50 と同程度である。一方、400m 地点において Leq,10m は、10Hz 以上では L50 と同程度であるが、10Hz 未満で風の影響によって両者の差が大きくなっており、Leq,10m は L10 に近い値となっている。

#### ウ. 10 秒間 Leq の 1 分毎の最小値〔Lmin.1m(Leq,10s)〕の平均値

いずれの地点も L50 に近い値を示している。400m 地点の Leq,10m は 10Hz 未満で左肩上がりに音圧レベルが上昇しており、明らかに風の影響を受けているが、Lmin.1m(Leq,10s)の平均値は 10Hz 未満でも音圧レベルが安定しており、風の影響が排除されていると考えられる。

#### エ. 10 秒間 Leq の 10 分毎の最小値〔Lmin.10m(Leq,10s)〕

いずれの地点も L90 又は L95 に近い値を示している。安定した音圧レベルのデータが得られているが、風車の低周波音は風速の変化に伴い音圧レベルも変動する。そのため、10 分毎に最小となる 10 秒間 Leq を集計した場合には、低周波音の実態を過小評価する恐れがある。

#### ) 騒音に関する検討

騒音の周波数分析結果を図 2.2.1.22～図 2.2.1.24 に示す。

- ・ 図2.2.2.22 騒音の周波数分析結果（風車から100m地点）  
LeqとLxの比較
- ・ 図2.2.2.23 騒音の周波数分析結果（風車から200m地点）  
LeqとLxの比較
- ・ 図2.2.2.24 騒音の周波数分析結果（風車から400m地点）  
LeqとLxの比較

#### ア. 暗騒音の影響

風車の風下 100m 地点（基準距離）については暗騒音の影響が概ね無視できるが、200m地点の 1kHz-10kHz 及び 400m 地点の 3.15kHz,4kHz については、暗騒音の影響がある（図 2.2.2.23、図 2.2.2.24 参照）。

暗騒音の影響は、L5, L10, Leq において大きく現れている。

#### イ. 10 分間 Leq(Leq,10m)

いずれの地点も Leq,10m は L50 に近い値となっている。ただし、200m 及び 400m地点では、4kHz を中心に Leq,10m と L50 の差がやや大きくなっている。これはカラス等の野鳥の鳴き声の影響であることがデータレコーダの再生音から確認されている。Leq,10m の値が野鳥の鳴き声等に影響されることに注意する必要がある。

#### ウ. 10 秒間 Leq の 1 分毎の最小値〔Lmin.1m(Leq,10s)〕の平均値

いずれの地点も L50 に近い値を示している。Lmin.1m(Leq,10s)の平均値は、4kHz でも音圧レベルが安定しており、カラス等の鳴き声に伴う暗騒音の影響が排除されていると考えられる。

#### エ. 10 秒間 Leq の 10 分毎の最小値〔Lmin.10m(Leq,10s)〕

いずれの地点も L90 又は L95 に近い値を示している。安定した音圧レベルのデータが得られるが、風車の騒音は風速の変化に伴い音圧レベルも変動する。そのため、10 分毎に最小となる 10 秒間 Leq を集計した場合には、騒音の実態を過小評価する恐れがある。

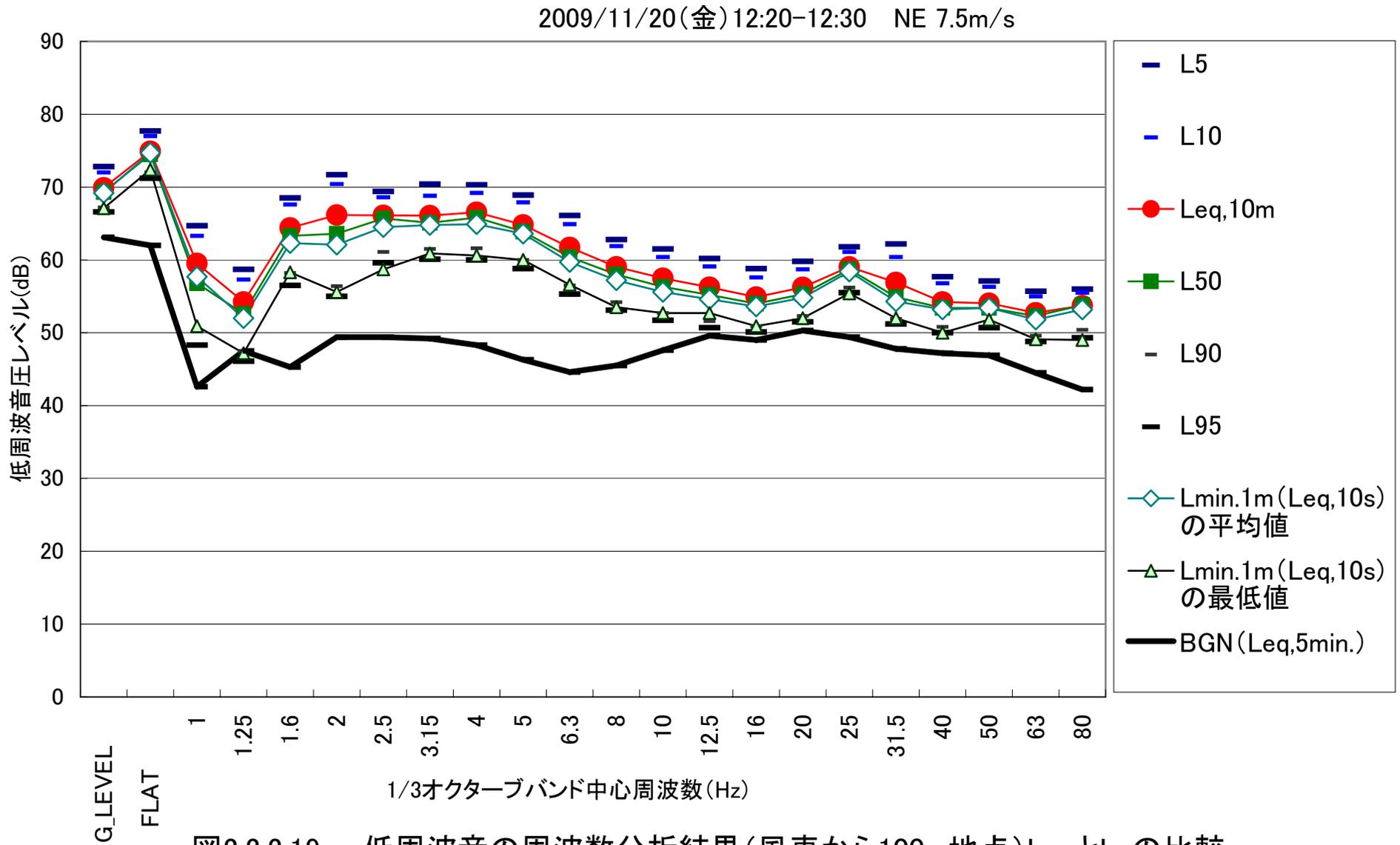


図2.2.2.19 低周波音の周波数分析結果(風車から100m地点)LeqとLxの比較

2009/11/20(金) 12:20-12:30 NE 7.5m/s

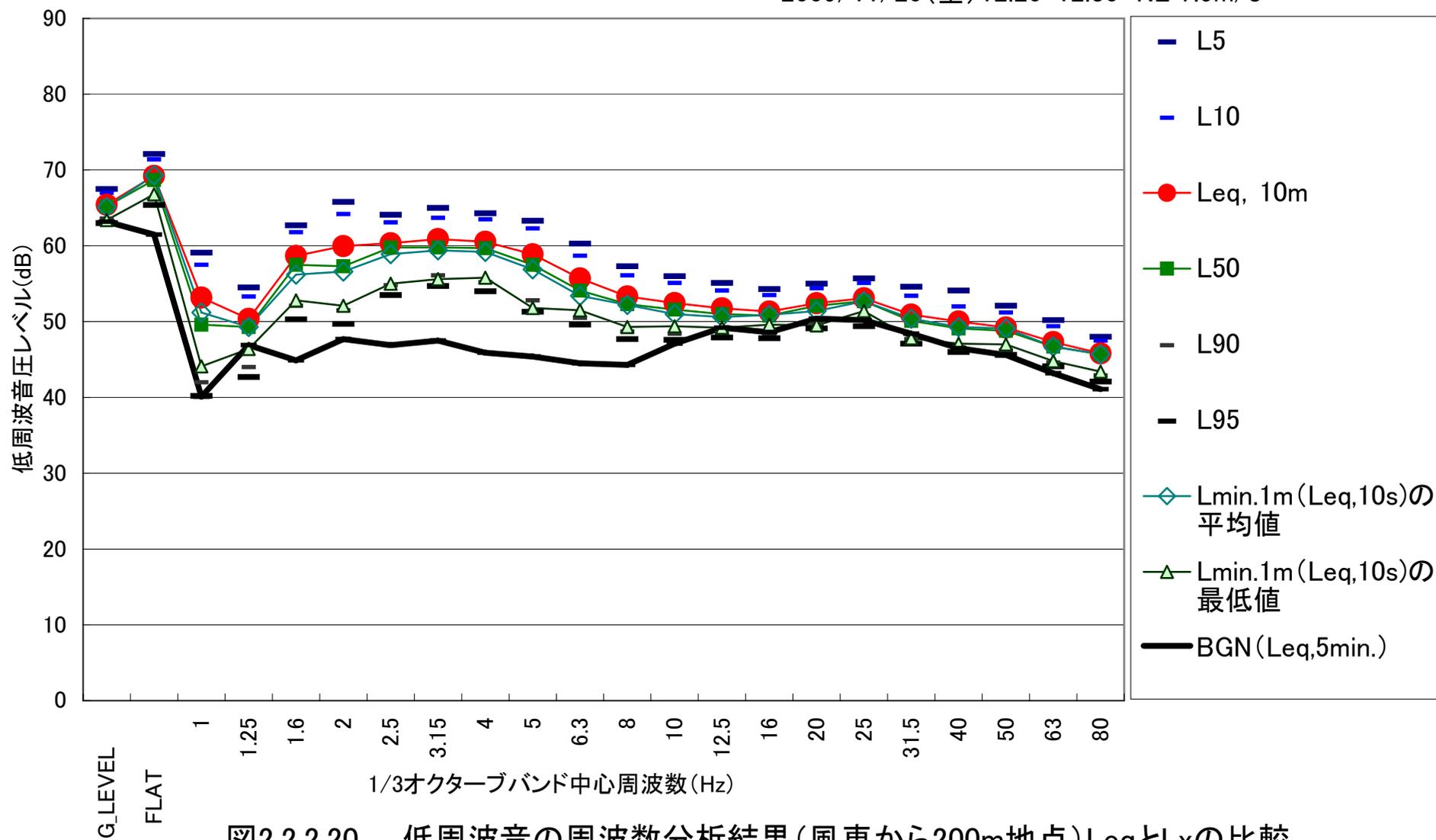


図2.2.2.20 低周波音の周波数分析結果(風車から200m地点)LeqとLxの比較

2009/11/20(金) 12:20-12:30 NE 7.5m/s

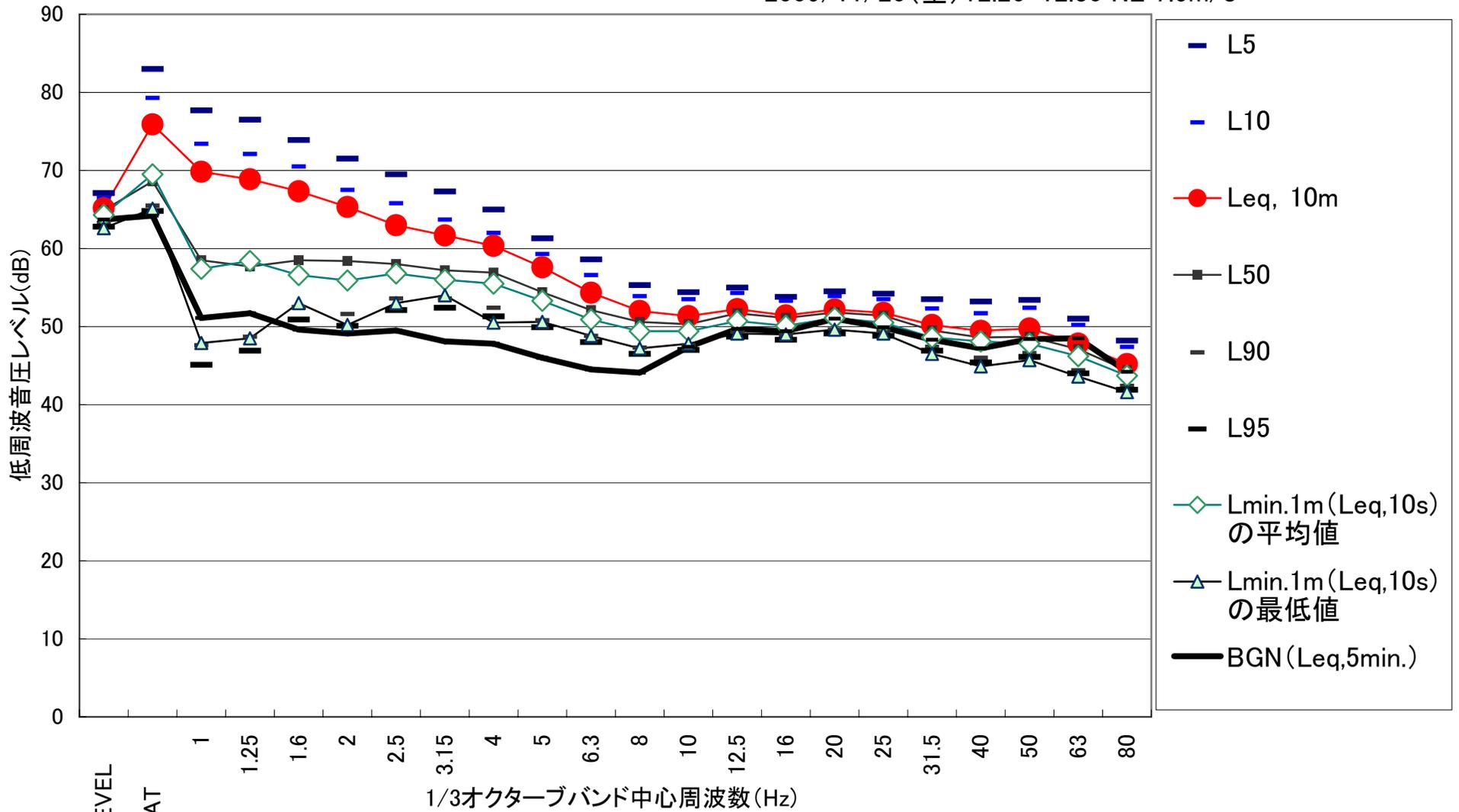


図2.2.2.21 低周波音の周波数分析結果(風車から400m地点)LeqとLxの比較

2009/11/20(金) 12:20-12:30 NE 7.5m/s

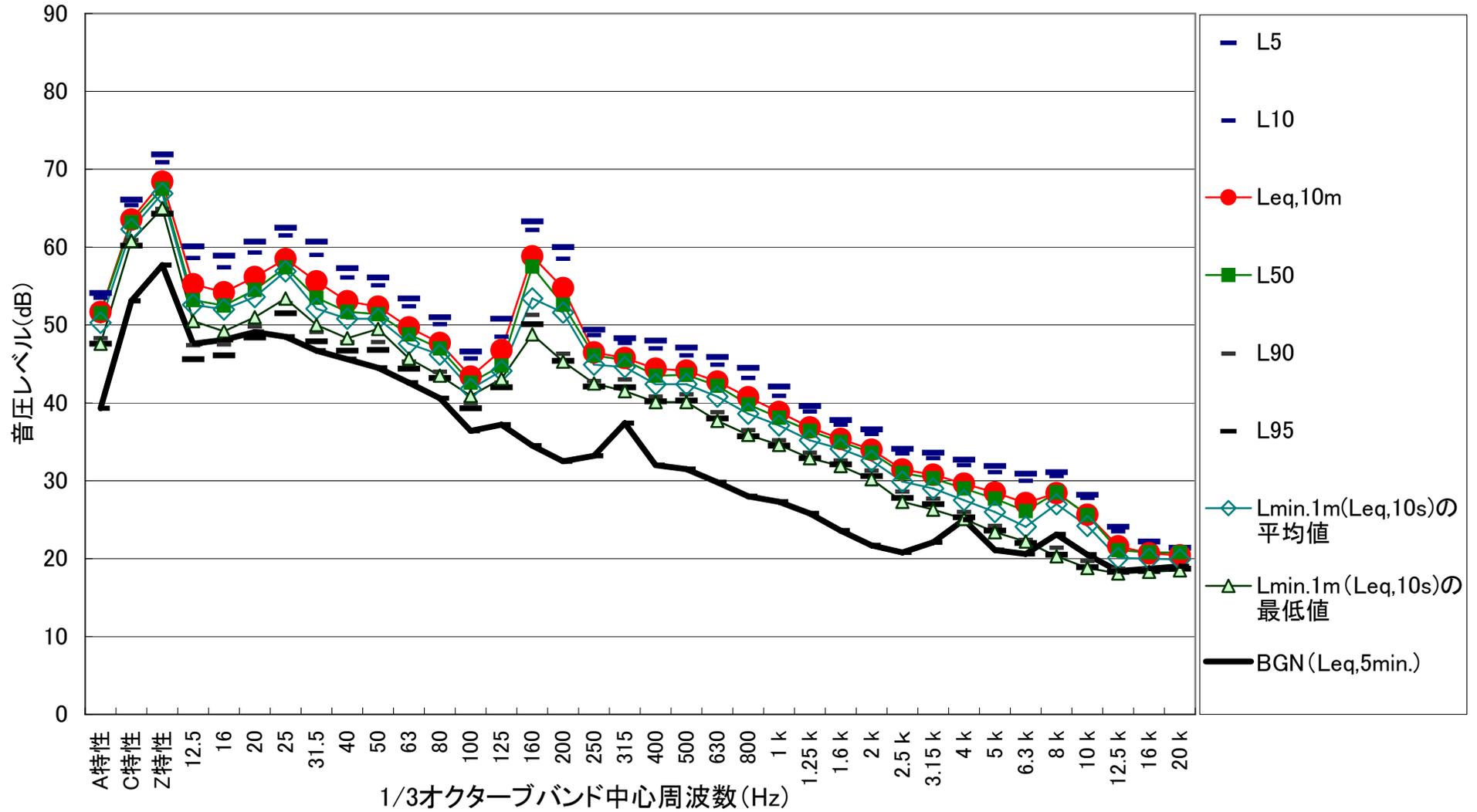


図2.2.2.22 騒音の周波数分析結果(風車から100m地点)LeqとLxの比較

2009/11/20(金) 12:20-12:30 NE,7.5m/s

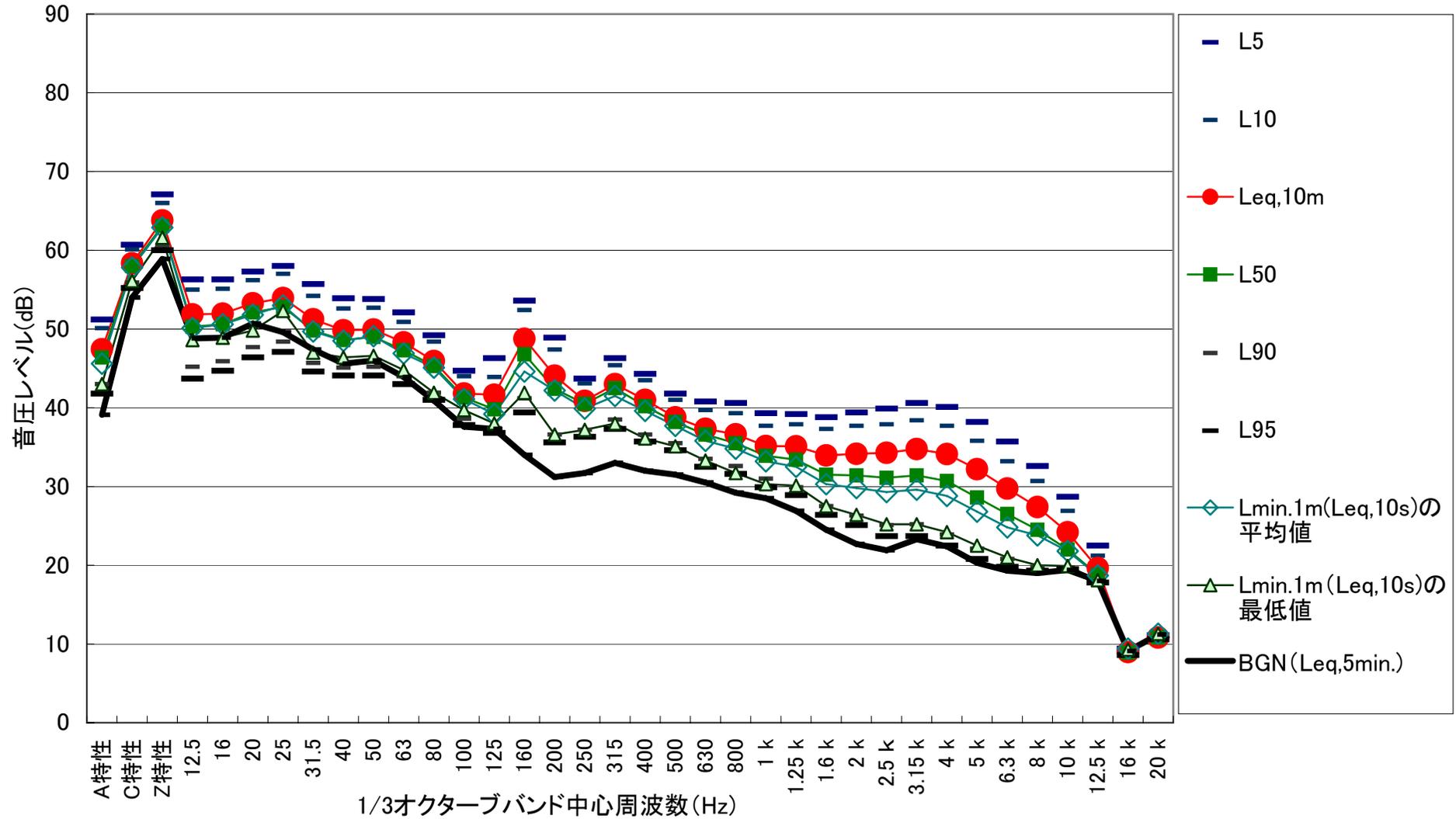


図2.2.2.23 騒音の周波数分析結果(風車から200m地点) LeqとLxの比較

2009/11/20(金) 12:20-12:30 NE 7.5m/s

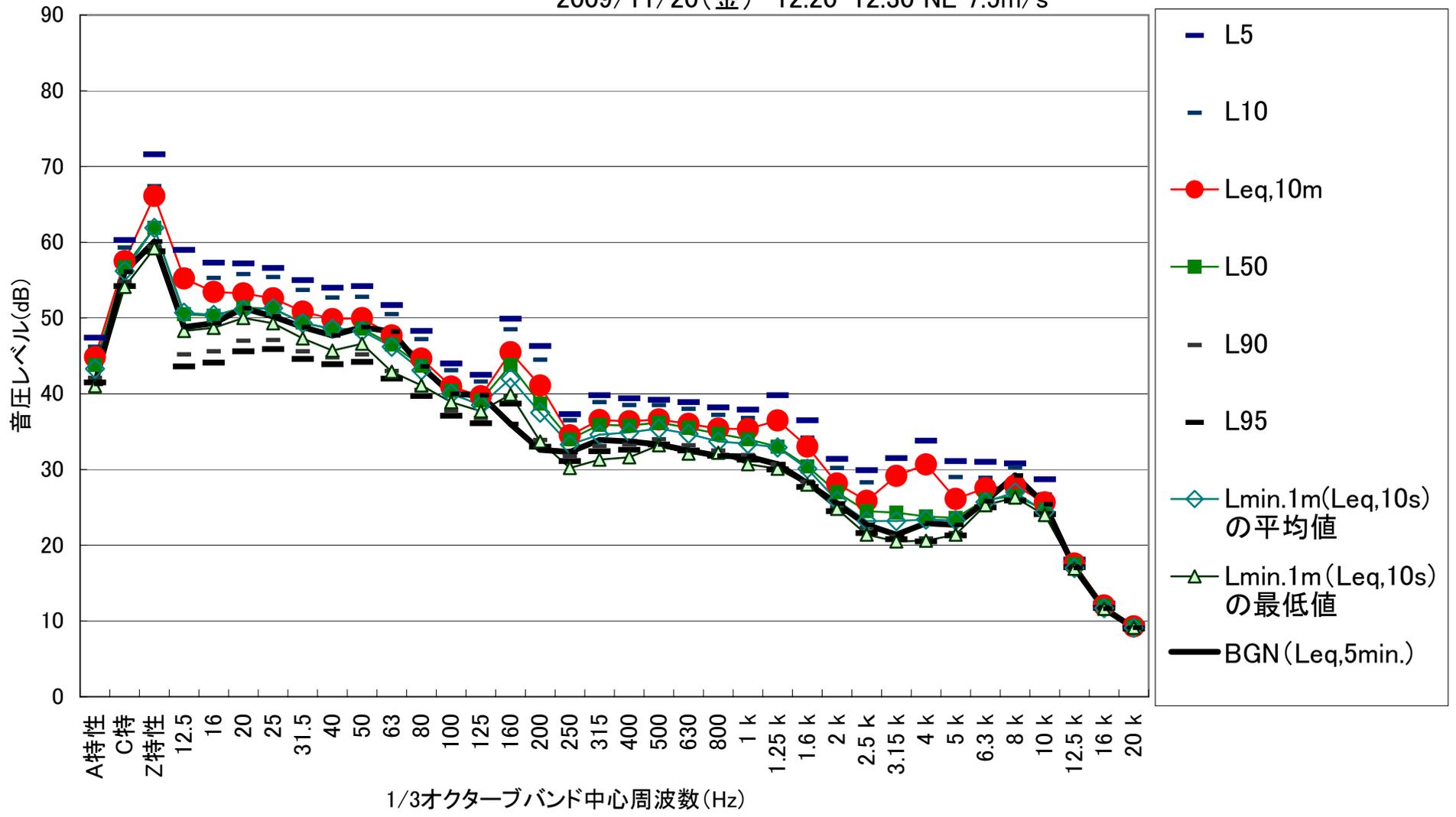


図2.2.2.24 騒音の周波数分析結果(風車から400m地点)LeqとLxの比較

### (3) 測定手法の検討のまとめ

風車音の測定・評価にあたって、評価値の意味付けと評価値相互の関係、風雑音や一過性の騒音等による影響について検討した。結果のまとめを以下に示す。

- ・「10分間Leq」は、風車音の平均的な値を捉えている。しかし、マイクロホン近傍の風雑音や、周辺を通過する車による騒音や鳥の鳴き声等の一過性の騒音による影響が大きい。特に風車からの距離が大きい測定点では、風雑音や一過性の騒音による影響の度合いが大きい。
- ・「1分間Leq」は、風車音の平均的な値を捉えている。しかし、マイクロホン近傍の風雑音や一過性の騒音による突発的な音圧レベルの上昇がある場合には、これらの影響を受けやすい。
- ・「10秒間Leqの1分毎の最小値〔Lmin.1m(Leq,10s)〕」は、風車音の音圧レベル変動の下端を捉えている。「10秒間Leqの1分毎の最小値」は、マイクロホン近傍の風雑音や、一過性の騒音による影響を受けにくく、これらの影響を除去するには有効であると考えられる。しかし、風車音の音圧レベルの変動が大きい場合、変動の状況を捉えるには別の評価値を用いる必要がある。
- ・「10秒間Leqの10分毎の最小値〔Lmin.10m(Leq,10s)〕」は、安定した値が得られるが、風車音の下限值に近い値をとる。
- ・統計値Lxと等価音圧レベルLeqとの関連性を検討したところ、暗騒音や風雑音による影響のない条件では「10分間Leq」はL50よりやや大きめであるもののL50に近い値を示すが、暗騒音や風雑音による影響のある条件では、これらによる影響を受けてL10に近い値を示す。
- ・「10秒間Leqの1分毎の最小値〔Lmin.1m(Leq,10s)〕の平均値」は、L50よりやや小さめでL50に近い値を示す。この値はマイクロホン近傍における風雑音や鳥の鳴き声等の間欠的な暗騒音による影響は受けにくい。
- ・「10秒間Leqの10分毎の最小値〔Lmin.10m(Leq,10s)〕」はL90又はL95に近い値を示す。安定した音圧レベルのデータが得られるが、風車音の実態を過小評価する恐れがある。

以上の検討結果から、風車音の測定にあたっては、各測定点に測定者を配置し風雑音や一過性の騒音のチェックをする必要がある。その上で風車音を正確に把握するには、得られた測定データのうち、これらの影響がない区間を分析するか、あるいは発生源側と苦情者側において時刻合わせをした上で10秒間Leqを連続的に測定し、発生源側と苦情者側の家屋内・外で得られたデータをつきあわせ、関連性のないデータを排除する作業が必要である。

風雑音や一過性の騒音の発生状況は各々の測定場所や測定時刻によっても異なるが、基本的には測定時間間隔を10秒とし、風雑音や一過性の騒音の影響がほとんどないと判断される場合に限って、1分程度の測定時間間隔を選択することが望ましいと考えられる。

なお、発生源側の測定点として風車の近傍に測定点を設定すると風車の局所的な音を拾ってしまう可能性が考えられるので、風車の全高程度は離すことが望ましい。

また現状は測定データが限られているため、今後とも測定を継続し、データ蓄積を図りながら、風力発電施設から発生する低周波音の測定手法の検討が必要である。