

PL-U4213 PcWaveFormWBV+ 振動暴露・快適性解析プログラムは、PcWaveForm 波形表示解析プログラムに「JIS B7760-2:2004 (ISO2631-1:1997) 全身振動-第2部 測定方法及び評価に関する基本的要求」に準拠した振動暴露解析及び快適性解析と、ISO5349-1に準拠した手腕振動暴露解析を行う機能が追加されています。



解析は、収録したファイルを表示させ、解析範囲を指定した後、アイコンをクリックすることで行います。

<振動暴露解析>

振動暴露とは、人体全身或いは一部が振動下に晒されていることを振動暴露(又は振動被曝)と言います。振動が人体に及ぼす影響は、快適性の低下(快感減退境界)、作業能率の低下(能率減退境界)、健康や安全への影響(暴露限界)と、様々な形で現れます。この解析は座面を通して伝達される0.5~80Hzまでの振動に適用されます。

“WBV+”プログラムでは、振動暴露解析アイコンをクリックすると振動暴露解析Windowが表示されます。振動暴露解析Windowでは、計測した座面3軸加速度から補正加速度実効値、最大過渡振動値、累積頻度相当値、及び四乗則暴露量値の、4種類の解析結果LISTを表示します。解析リストの先頭行は8h換算値行、次に計測時間全体のOverall行が続き、以降、計測開始時刻から計測区間毎の結果行が続きます。尚、解析結果リストはcsv形式で保存出来ます。

Time	Awb	BWv	AWz	BWz	MTVvx	MTVvy	MTVvz	MTVvc	Lx75%	Ly75%	Lz75%	Lc75%	VDVvx	VDVvy	VDVz	VDVc
8h	0.188	0.167	0.111	0.370	2.035	1.114	0.744	3.140	0.190	0.181	0.113	0.385	10.117	7.506	5.134	18.613
Overall	0.188	0.167	0.111	0.370	2.035	1.114	0.744	3.140	0.190	0.181	0.113	0.385	10.117	7.506	5.134	18.613
01/10/02 11:30:43	0.095	0.091	0.050	0.191	1.169	1.114	0.620	2.262	0.043	0.042	0.053	0.097	3.618	3.441	0.672	7.022
01/10/02 11:32:43	0.052	0.037	0.061	0.103	0.246	0.163	0.214	0.536	0.047	0.039	0.048	0.097	1.129	0.513	0.738	1.366
01/10/02 11:34:43	0.071	0.061	0.061	0.141	0.165	0.139	0.037	0.264	0.079	0.072	0.054	0.155	0.979	0.676	0.659	1.567
01/10/02 11:36:43	0.112	0.093	0.061	0.121	0.234	0.272	0.226	1.039	0.067	0.101	0.059	0.207	2.338	1.470	0.942	3.968
01/10/02 11:38:43	0.194	0.188	0.109	0.394	0.604	0.446	0.520	1.257	0.175	0.206	0.108	0.403	3.440	2.798	1.804	6.465
01/10/02 11:40:43	0.154	0.152	0.112	0.332	0.536	0.416	0.381	0.784	0.181	0.177	0.124	0.371	2.140	2.259	1.607	4.644
01/10/02 11:42:43	0.174	0.135	0.094	0.323	0.677	0.360	0.270	0.989	0.185	0.149	0.105	0.243	2.814	1.974	1.306	4.940
01/10/02 11:44:43	0.202	0.167	0.110	0.382	0.588	0.391	0.254	0.923	0.239	0.185	0.125	0.417	2.895	2.300	1.515	5.351
01/10/02 11:46:43	0.252	0.177	0.112	0.445	1.236	0.675	0.447	1.345	0.159	0.182	0.119	0.375	5.136	3.515	1.723	8.241
01/10/02 11:48:43	0.165	0.158	0.093	0.336	0.464	0.614	0.316	0.925	0.152	0.221	0.103	0.391	2.414	2.073	1.361	6.174
01/10/02 11:50:43	0.168	0.129	0.089	0.345	0.482	0.399	0.151	0.693	0.177	0.201	0.037	0.381	2.244	2.478	1.198	4.931
01/10/02 11:52:43	0.139	0.151	0.080	0.296	0.407	0.313	0.191	0.642	0.157	0.172	0.090	0.330	1.974	2.132	1.102	4.274
01/10/02 11:54:43	0.142	0.152	0.090	0.315	0.441	0.378	0.272	0.664	0.157	0.185	0.097	0.350	2.116	2.272	1.263	4.931
01/10/02 11:56:43	0.180	0.139	0.099	0.359	0.612	0.451	0.281	1.272	0.194	0.184	0.110	0.382	2.962	2.459	1.400	5.569
01/10/02 11:58:43	0.157	0.158	0.092	0.321	0.412	0.374	0.209	0.642	0.178	0.173	0.102	0.356	2.240	2.228	1.273	4.903
01/10/02 12:00:43	0.167	0.138	0.100	0.336	0.551	0.406	0.414	0.999	0.170	0.163	0.108	0.333	2.436	1.960	1.517	4.994
01/10/02 12:02:43	0.147	0.152	0.084	0.319	0.406	0.394	0.210	0.625	0.170	0.186	0.094	0.357	2.057	2.277	1.176	4.481
01/10/02 12:04:43	0.185	0.136	0.093	0.379	0.509	0.611	0.381	1.412	0.178	0.202	0.095	0.379	3.435	2.723	1.513	6.321
01/10/02 12:06:43	0.185	0.173	0.112	0.372	0.728	0.476	0.428	1.143	0.191	0.184	0.118	0.383	2.916	2.547	1.764	6.700
01/10/02 12:08:43	0.265	0.207	0.159	0.490	0.999	0.560	0.606	1.532	0.271	0.222	0.156	0.506	4.533	3.074	2.570	8.086
01/10/02 12:10:43	0.194	0.190	0.111	0.396	0.660	0.572	0.430	1.420	0.181	0.205	0.111	0.412	3.295	2.608	1.719	6.900
01/10/02 12:12:43	0.148	0.162	0.087	0.319	0.355	0.393	0.228	0.665	0.168	0.180	0.096	0.359	2.146	2.341	1.222	4.611
01/10/02 12:14:43	0.163	0.158	0.095	0.341	0.454	0.467	0.235	0.749	0.195	0.191	0.106	0.395	2.298	2.476	1.351	4.913
01/10/02 12:16:43	0.152	0.135	0.090	0.317	0.477	0.456	0.256	0.914	0.166	0.164	0.093	0.341	2.317	2.336	1.238	4.787
01/10/02 12:18:43	0.214	0.159	0.131	0.395	0.566	0.429	0.473	1.384	0.219	0.179	0.117	0.411	3.639	2.445	2.112	6.479
01/10/02 12:20:43	0.255	0.198	0.145	0.475	1.035	0.665	0.744	3.140	0.194	0.198	0.119	0.409	6.439	3.694	2.818	10.756
01/10/02 12:22:43	0.150	0.191	0.109	0.356	0.337	0.450	0.344	0.684	0.170	0.221	0.113	0.400	2.090	2.624	1.611	4.965
01/10/02 12:24:43	0.227	0.166	0.119	0.410	1.570	0.625	0.487	2.223	0.198	0.175	0.123	0.384	5.207	2.626	1.888	8.975
01/10/02 12:26:43	0.203	0.200	0.108	0.414	0.764	0.485	0.328	1.139	0.226	0.224	0.111	0.453	3.022	2.769	1.570	5.950
01/10/02 12:28:43	0.211	0.248	0.138	0.573	1.430	0.693	0.573	2.167	0.252	0.235	0.126	0.520	6.245	4.248	2.475	10.709
01/10/02 12:30:43	0.187	0.176	0.108	0.375	0.563	0.395	0.372	0.918	0.213	0.192	0.109	0.425	2.922	2.495	1.632	6.520
01/10/02 12:32:43	0.215	0.158	0.118	0.425	0.578	0.694	0.413	1.341	0.210	0.210	0.120	0.453	3.630	3.100	1.848	6.034
01/10/02 12:34:43	0.245	0.199	0.157	0.469	0.959	0.621	0.511	1.939	0.247	0.225	0.122	0.476	4.154	3.025	2.287	7.549
01/10/02 12:36:43	0.197	0.150	0.137	0.373	0.560	0.422	0.405	0.896	0.218	0.166	0.151	0.409	2.832	2.189	1.938	6.373
01/10/02 12:38:43	0.174	0.137	0.111	0.329	0.727	0.550	0.409	1.208	0.187	0.145	0.123	0.341	2.712	2.122	1.658	5.096

◆ 設定する解析条件

- ① 計測区間 (Calc Period) ListBoxの1,2,5,10,20分から選択
解析対象データの先頭から、ここで指定された時間毎の解析結果LISTを作成します。
- ② 積分周期 (Time Const) ListBoxの0.125,0.63,1,2秒から選択
移動実効値演算での積分周期を意味します。

- ③ 補正フィルタ (Weighting filter) のON,OFF選択
 加速度データにISO2631-1補正フィルタ処理の有無でのLIST表示が可能です。
- ④ Z軸の補正フィルタ特性 ラジオボタンのWk,Wb,Wdから選択
 通常Wkを掛けますが、X,Y軸と共通のWd、又はISO2631-4のWbを選択出来ます。
- ⑤ 累積頻度(L) ListBoxの50,75,90%から選択
 累積頻度相当値演算の累積頻度を意味します。
- ⑥ 表示単位 (Disp Unit) ListBoxの”m/s^2”,”dB”から選択
 解析結果LISTに表示する単位を振動値で表すか振動レベルで表すかを意味します。
- ⑦ X軸、Y軸、Z軸 加速度チャンネル ListBoxから選択
 収録チャンネルのX/Y/Z軸を選択します。

◆ 解析結果 LIST の演算内容

- ① 各軸の補正加速度実効値及び補正加速度合成値 (表の 2 列目~4 列目、5 列目に合成補正加速度実効値)

$$\text{補正加速度実効値 } a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

$a_w(t)$: 補正フィルタ通過後の加速度瞬時値 (m/s² または rad/s²) を意味します。 T : 計測区間 (sec)

$$\text{合成補正加速度実効値 } a_{wc} = \left[(1.4 \cdot a_{wx})^2 + (1.4 \cdot a_{wy})^2 + a_{wz}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ 表の 5 列目に表示}$$

- ② 最大過渡振動値 (表の 6 列目~9 列目に表示)

最大過渡振動値 (MTVV : Maximum Transient Vibration Value) は移動加速度実効値の計測区間に於ける最大値を言います。

$$\text{移動実効値 } a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

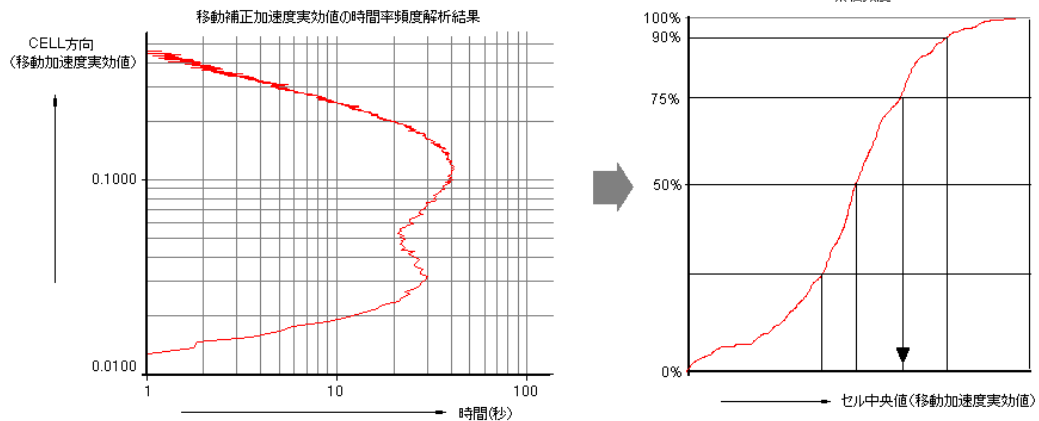
$a_w(t)$: 補正加速度の瞬時値、 τ : 移動平均の積分時間 (0.125、0.63、1、2sec から選択)

※ 移動実効値波形は別 Window で表示できます。

$$\text{最大過渡振動値 } MTVV = \max \{ a_w(t_0) \}$$

- ③ 累積頻度相当値 (表の 10 列目~13 列目に表示)

累積頻度相当値とは、計測区間毎に移動実効値波形の時間率頻度解析を行い、その結果を累積頻度に変換し、設定されるパーセンタイル (50,75,90%から選択) での相当実効値を指します。



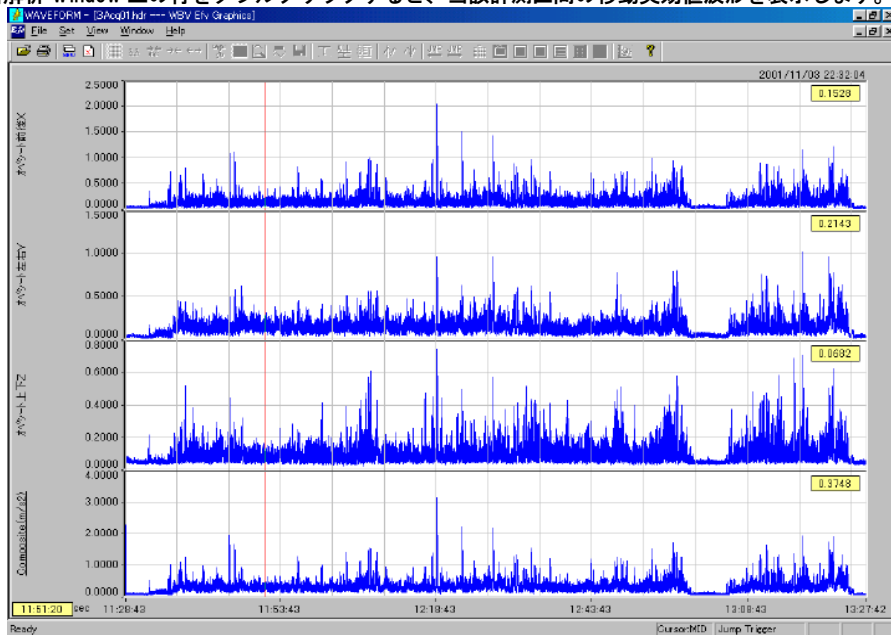
- ④ 四乗則暴露量 (表の 14 列目~17 列目に表示)

VDV (Fourth Power Vibration Dose Value) はフィルタ処理後の補正加速度を計測区間毎に演算します。四乗暴露量値は 2 乗根よりピーク加速度に関して敏感であること、また、計測区間で割らないことから計測区間中に暴露した振動全体を表しています。尚、VDV の単位は m/s^{1.75} となります。

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}}$$

◆ 移動加速度実効値波形の表示

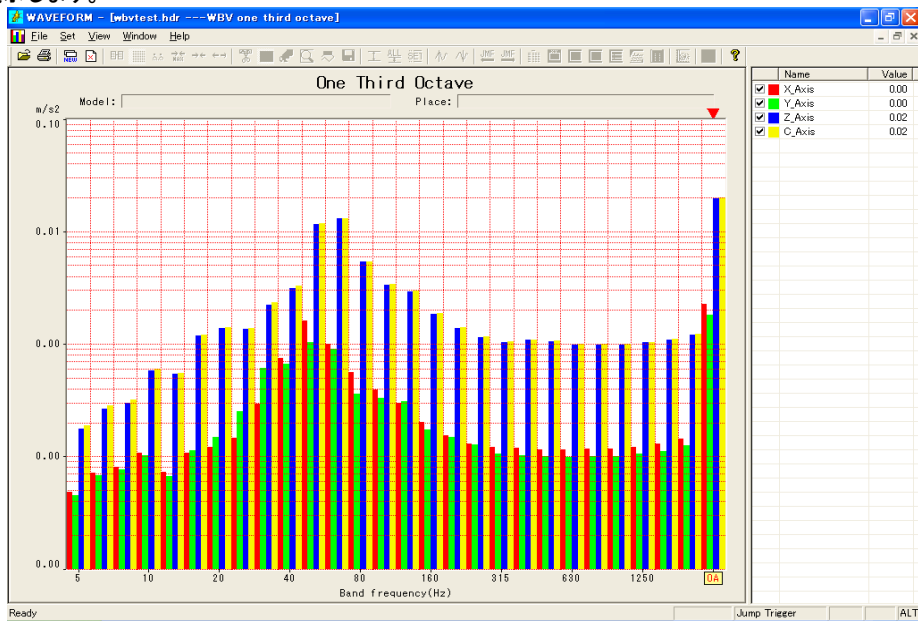
振動暴露解析 Window 上の行をダブルクリックすると、当該計測区間の移動実効値波形を表示します。



座面の移動加速度実効値の x,y,z の 3 軸値と合成軸値が表示されます。カーソル操作で値を読み取ることが出来ます。

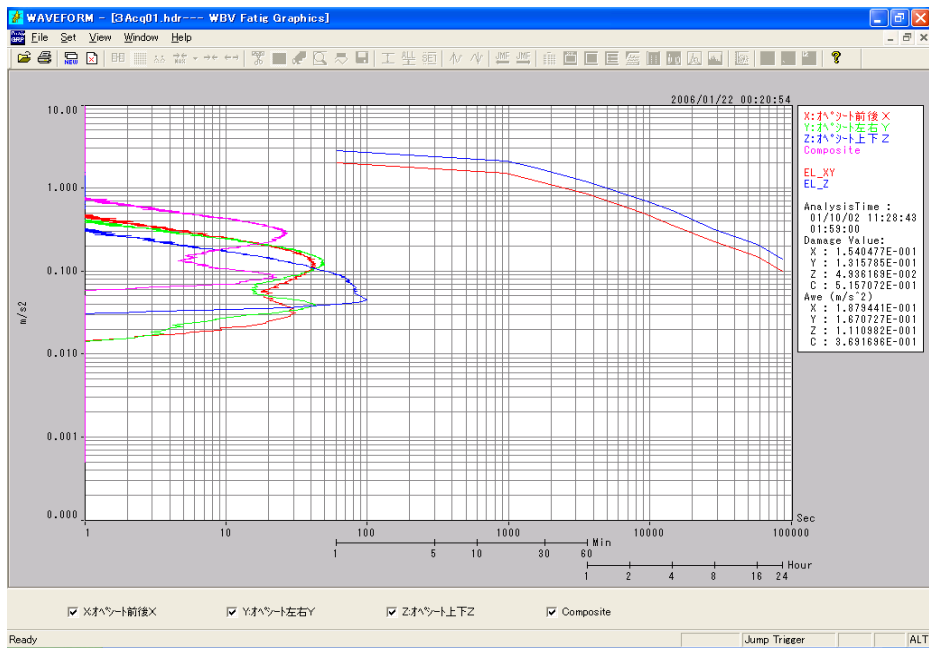
◆ 1/3 オクターブ分析の表示

暴露解析 Window 上の 1/3 オクターブ解析ボタンをクリックすると、選択されている計測区間の 1/3 オクターブ解析結果を表示します。



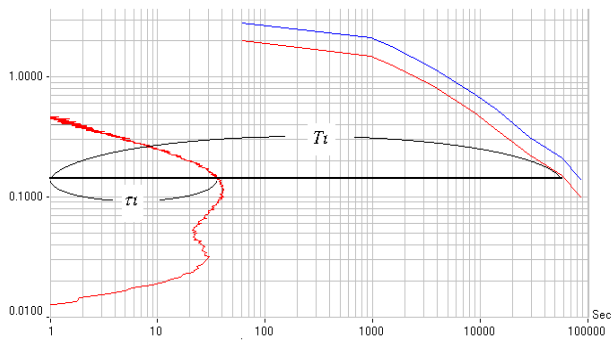
◆ 疲労解析 Window の表示

移動加速度実効値の時間率頻度解析を近似線とのマイナー則での疲労被害を演算して表示します。



グラフ右側に被害値及び等価振動量を表示します。

等価振動量、被害度の計算



$$\text{等価振動量は } a_{we} = \left[\frac{\sum a_{wi}^2 t_i}{\sum t_i} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{被害度は、 } D_{tot} = \sum \frac{t_i}{T_i}$$

<快適性の解析>

座位（シートに座った状態）で受ける周期的、不規則的、過渡的な全身振動に暴露される健康な人間の快適性の評価が行えます。人体に加わる 0.5～80Hz までの振動に適用されます。

但し、ISO2631-1 では快適性に関して振動影響の時間依存性を確認する決定的な根拠は確認されないとされています。

“WB V+”での快適性解析は、座面からの振動伝達 6 軸、背もたれからの振動伝達 3 軸、足支持部からの振動伝達 3 軸の合計 12 軸までの解析を行います。解析範囲を指定後、アイコンをクリックすると 12 軸快適性解析 LIST が表示されます。解析結果は各軸の補正加速度実効値及び軸合成値が計測区間毎に表示します。

The screenshot shows the 'Analysis Exec' window in the WAVEFORM software. It contains a table for setting analysis parameters and a large table of results. The parameters table includes Factor, X-axis, Y-axis, and Z-axis settings for Seat(m/s²), Floor(m/s²), Back.Acc(m/s²), and Seat Moment(red/s²). The results table has columns for S.c, F.x, F.y, F.z, F.c, BA.x, BA.y, BA.z, BA.c, BM.x, BM.y, BM.z, and BM.c, with numerical values for each.

表示している解析 Window は説明の都合上、すべて座面の振動データを使用しています

◆ 設定する解析条件

解析リストの先頭行は8h換算値行、次に計測時間全体のOverall行が続き、以降、計測開始時刻から計測区間毎の結果行が続きます。

- ① 計測区間 (Calc Period) ListBoxの1,2,5,10,20分から選択
解析対象データの先頭から、ここで指定された時間毎の解析結果LISTを作成します。
- ② 積分周期 (Time Const) ListBoxの0.125,0.63,1,2秒から選択
移動実効値演算での積分周期を意味します。
- ③ 補正フィルタ (Weighting filter) のON,OFF選択
加速度データにISO2631-1補正フィルタ処理の有無でのLIST表示が可能です。
- ④ 座面合成振動値演算補正係数の有無選択
チェックボックスをチェックするとX軸/Y軸のファクタを1.4として合成します。
- ⑤ 表示単位 (Disp Unit) ListBoxの”m/s²”,”dB”から選択
解析結果LISTに表示する単位を振動値で表すか振動レベルで表すかを意味します。

◆ 解析結果 LIST の演算内容

- ① 各軸の補正加速度実効値及び補正加速度合成値

$$\text{補正加速度実効値 } a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$$

$a_w(t)$: 補正フィルタ通過後の加速度瞬時値 (m/s² または rad/s²) を意味します。 T : 計測区間 (sec)

$$\text{合成補正加速度 } a_{wc} = \left[(k \cdot a_{wx})^2 + (k \cdot a_{wy})^2 + (k \cdot a_{wz})^2 \right]^{1/2}$$

k は補正係数、計測部位により異なります。

計測部位	補正係数k	補正フィルタ
背もたれ X 加速度	0.8	Wc
背もたれ y 加速度	0.5	Wd
背もたれ z 加速度	0.4	Wd
座面 x 加速度	1	Wd
座面 y 加速度	1	Wd
座面 z 加速度	1	Wk
座面 x 角加速度	0.63	We
座面 y 角加速度	0.4	We
座面 z 角加速度	0.2	We
足支持面 x 加速度	0.25	Wk
足支持面 y 加速度	0.25	Wk
足支持面 z 加速度	0.4	Wk

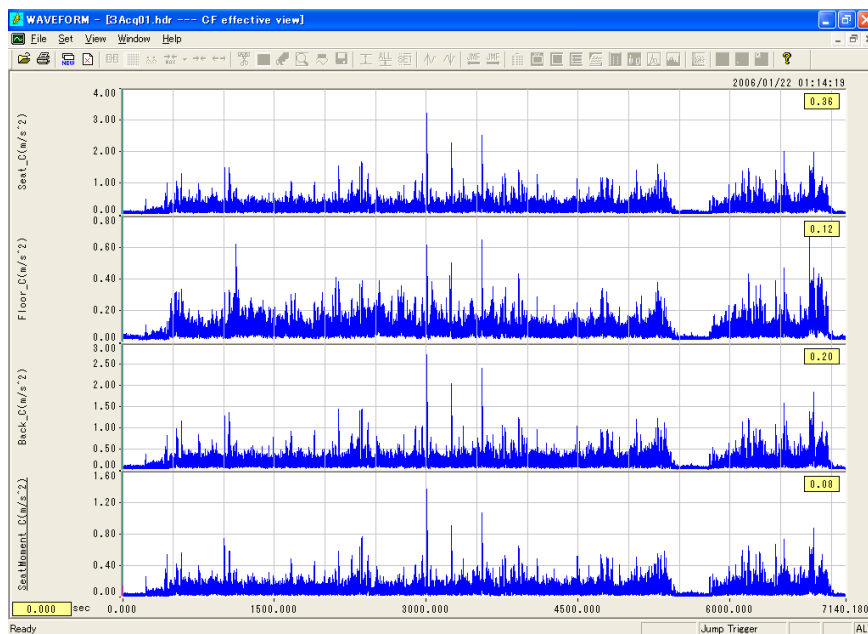
$$\text{全体の合成値 } a_w = \left[a_{wB}^2 + a_{wS}^2 + a_{wR}^2 + a_{wL}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

a_{wB} : 背もたれ 3 軸合成補正加速度、 a_{wS} : 座面 3 軸合成補正加速度、 a_{wR} : 座面モーメント 3 軸合成補正加速度、 a_{wL} : 足支持部 3 軸合成補正加速度を意味します。

※ 座面合成演算での X 軸、Y 軸は補正係数は設定によって 1.4 が使用される場合があります。

◆ 移動加速度実効値波形 Window の表示

12 軸快適性解析 Window 上の行をダブルクリックすると、当該計測区間の移動実効値波形を表示します。



移動補正加速度実効値波形の表示は、計測部位毎の合成実効値、又は 12 軸独立に移動補正加速度実効値の何れかを選択出来ます。

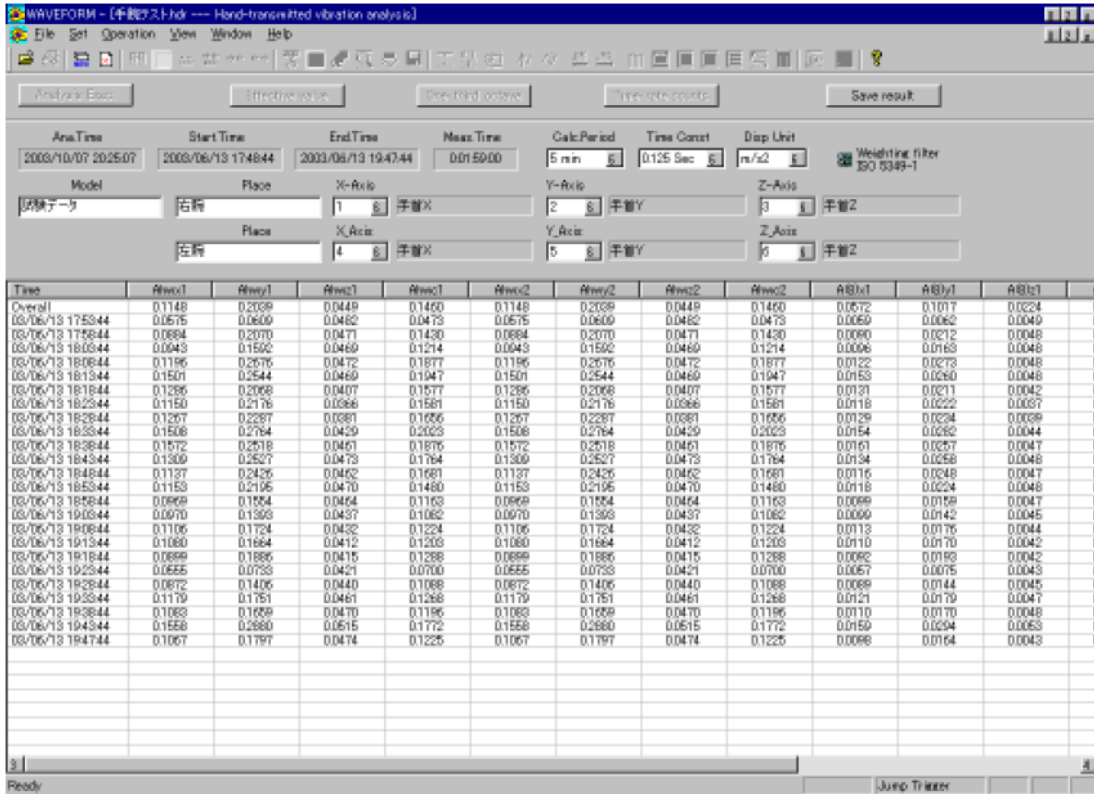
<参考 ISO2631-1 附属書 C.2.3 から転載>

振動環境と快適性との対応：快適性に対応する振動の許容値は適用される場面によって異なる様々な因子に左右される。下表は、公共交通機関に於いての反応を近似的に与えるものです。

全体合成加速度	反応
0.315m/s ² 未満	不快でない
0.315~0.63m/s ²	少し不快
0.5~1m/s ²	やや不快
0.8~1.6m/s ²	不快
1.25~2.5m/s ²	かなり不快
2m/s ²	極度に不快

<手腕振動暴露解析>

振動工具等での作業中に受ける手腕からの振動伝達 3 軸を ISO5349-1 に準拠して解析します。
解析範囲を指定後、アイコンをクリックすると手腕振動暴露 LIST が表示されます。解析結果は各軸の補正加速度実効値及び軸合成値を計測区間毎に表示します。



◆ 設定する解析条件

解析リストの先頭行は計測時間全体のOverall行が続き、以降、計測開始時刻から計測区間毎の結果行が続きます。

- ① 計測区間 (Calc Period) ListBoxの1,2,5,10,20分から選択
解析対象データの先頭から、ここで指定された時間毎の解析結果LISTを作成します。
- ② 積分周期 (Time Const) ListBoxの0.125,0.63,1,2秒から選択
移動実効値演算での積分周期を意味します。
- ③ 表示単位 (Disp Unit) ListBoxの”m/s²”,”dB”から選択
解析結果LISTに表示する単位を振動値で表すか振動レベルで表すかを意味します。

◆ 解析結果 LIST の演算内容

- ① 各軸の補正加速度実効値及び補正加速度合成値

$$\text{補正加速度実効値 } a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

$a_w(t)$: 補正フィルタ通過後の加速度瞬時値 (m/s² または rad/s²) を意味します。 T : 計測区間 (sec)

$$\text{合成補正加速度 } a_{wc} = \left[(a_{wx})^2 + (a_{wy})^2 + (a_{wz})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

- ② 日量暴露量値

計測時間毎を一つの単位とした日量暴露量を時間率頻度解析結果から求め表示します。日量暴露量とは当該計測時間内で受けた暴露量を8時間に受けた暴露量として演算しています。

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{t_0} \sum_{i=1}^m a_{hv}^2 \times t_i}$$

演算は、時間率頻度処理結果のセル中央値と計数値を使用します。 $t_0=28,800$ 秒(8時間)、 t_i =当該セルの計数値(時間)を意味します。

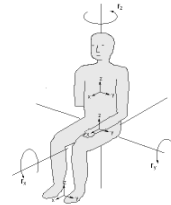
<振動暴露解析と快適性解析の要点>

◆ 計測部位

計測部位	単位	補正フィルタ	振動暴露	快適性	振動知覚
背もたれ x 加速度	m/s^2	Wc	△	○	
背もたれ y 加速度	m/s^2	Wd		○	
背もたれ z 加速度	m/s^2	Wd		○	
座面 x 加速度	m/s^2	Wd	○	○	○
座面 y 加速度	m/s^2	Wd	○	○	○
座面 z 加速度	m/s^2	Wk	○	○	○
座面 x 角加速度	rad/s^2	We		○	○
座面 y 角加速度	rad/s^2	We		○	○
座面 z 角加速度	rad/s^2	We		○	○
足支持面 x 加速度	m/s^2	Wk		○	
足支持面 y 加速度	m/s^2	Wk		○	
足支持面 z 加速度	m/s^2	Wk		○	

計測点は人体座標軸に従って行います。但し、困難な場合は、感度軸を 15° までずらしても良い。また、センサは人体との接触面に取り付ける必要があります。 座位計測では次の 3 点を主要計測点としています。

- ① 座面：計測位置は座骨結節の直下
- ② 背もたれ面：身体の主要支持範囲
- ③ 足支持面：足が置かれる機会の最も多い支持面



◆ 補正フィルタ

計測した各部の振動加速度は、計測部位に従属した補正フィルタを通過させる必要があります。

ISO2631-1 では、伝達関数で定義されていますが、「WBV+」プログラムでは時間領域に変換した IIR 形式フィルタにて処理しています。

参考 (JIS B7760-2 より転載)

基本補正に関する伝達関数パラメータ表

	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$	$f_3(Hz)$	$f_4(Hz)$	Q_4	$f_5(Hz)$	Q_5	$f_6(Hz)$	Q_6
Wk	0.4	100	12.5	12.5	0.63	2.37	0.91	3.35	0.91
Wd	0.4	100	2.0	2.0	0.63	∞	—	∞	—
Wf	0.08	0.63	∞	0.25	0.86	0.0625	0.80	0.1	0.80

補足補正に関する伝達関数のパラメータ表

	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$	$f_3(Hz)$	$f_4(Hz)$	Q_4	$f_5(Hz)$	Q_5	$f_6(Hz)$	Q_6
We	0.4	100	8.0	8.0	0.63	∞	—	∞	—
Wc	0.4	100	1.0	1.0	0.63	∞	—	∞	—
Wj	0.4	100	∞	∞	—	3.75	0.91	5.32	0.91

伝達関数は以下の伝達関数式の積で表されます。

$$|H_h(p)| = \frac{1}{1 + \sqrt{2\omega_1/p + (\omega_1/p)^2}} \quad \omega_1 = 2\pi f_1 \quad \text{ハイパス}$$

$$|H_l(p)| = \frac{1}{1 + \sqrt{2p/\omega_2 + (p/\omega_2)^2}} \quad \omega_2 = 2\pi f_2 \quad \text{ローパス}$$

$$|H_t(p)| = \frac{1 + p/\omega_3}{1 + p/(Q_4\omega_4) + (p/\omega_4)^2} \quad \omega_3 = 2\pi f_3 \quad \omega_4 = 2\pi f_4 \quad \text{加速度-速度遷移域}$$

$$|H_s(p)| = \frac{1 + p/(Q_5\omega_5) + (p/\omega_5)^2}{1 + p/(Q_6\omega_6) + (p/\omega_6)^2} \cdot \left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2 \quad \omega_5 = 2\pi f_5 \quad \omega_6 = 2\pi f_6 \quad \text{増加ステップ域}$$

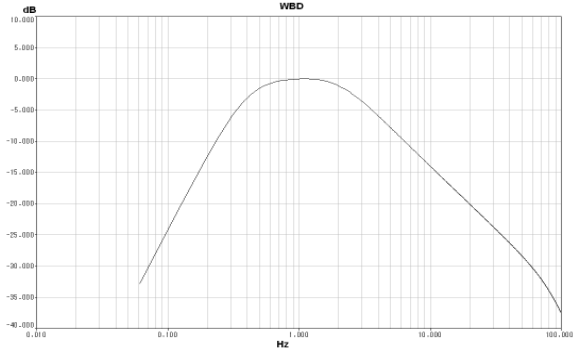
$p = j2\pi f$ の関数、s で表す場合もあります。

結合すると、補正係数は、以下の通りとなります。

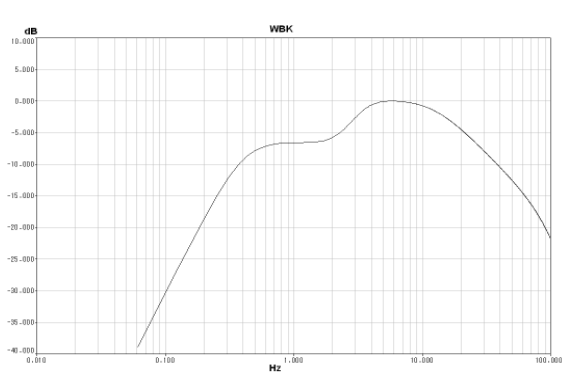
$$H(p) = H_h(p) \cdot H_l(p) \cdot H_t(p) \cdot H_s(p)$$

補正係数 Wj の時、 $H_l(p) = 1$ 、Wc、Wd、We の時 $H_s(p) = 1$

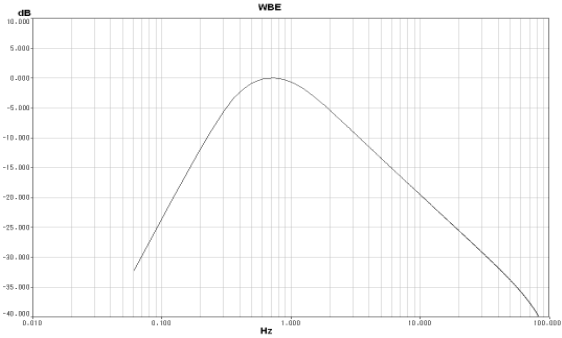
ISO2631-1 Wd 補正フィルタ特性



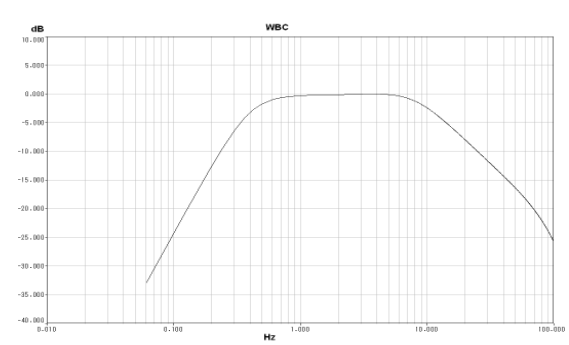
ISO2631-1 Wk 補正フィルタ特性



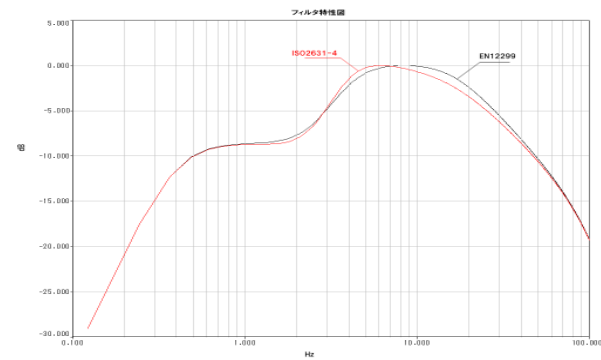
ISO2631-1 We 補正フィルタ特性



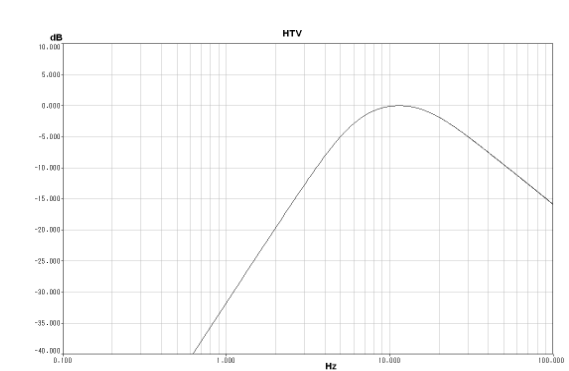
ISO2631-1 Wc 補正フィルタ特性



ISO2631-4 Wb 補正フィルタ特性



ISO5349-1 手腕補正フィルタ特性



※ 赤線は ISO2631-4、黒線は E
 ※ N12299