

|        |                     |  |
|--------|---------------------|--|
| シートNO. | <u>回転機械から発生する</u>   |  |
| 5-1-1  | <u>代表的な振動と周波数特性</u> |  |

回転機械から発生する代表的な振動

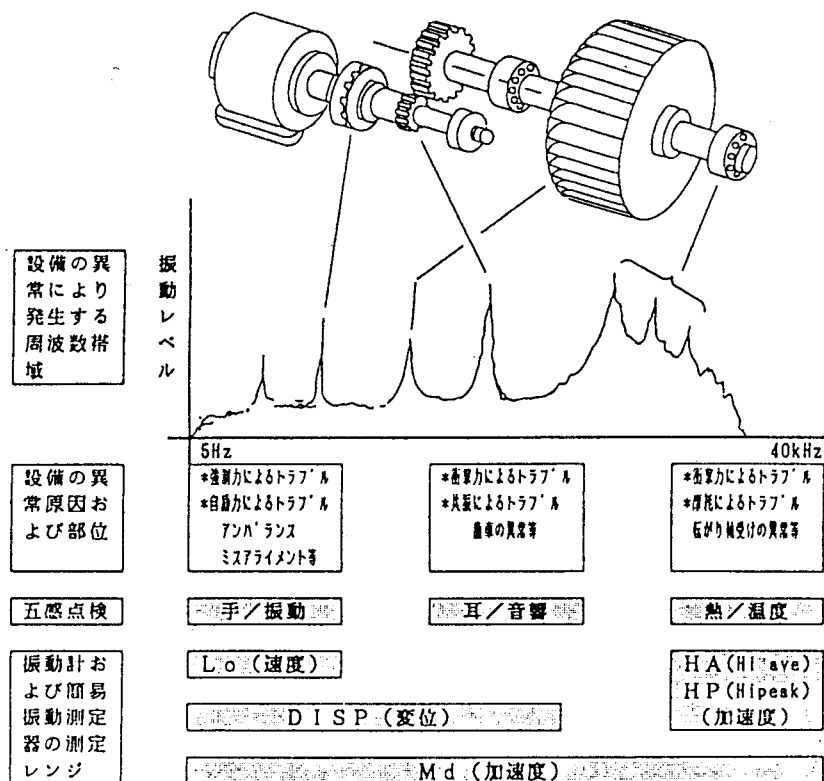


図5-1 回転機械から発生する振動

図5-1に示すように、異常の発生している場所により周波数が異なることが分かる。

人間の五感による診断では、個人の経験などにより判定にバラツキが生じる。

<メモ>

強制力によるトラブル： 不つりあい振動や、流体振動、電磁振動又は他機からの伝播といった振動で、機械が回転することによって発生した不つりあい力が設備を振動させたり、外部からの力が機械を振動させる場合をいう。アンバランス・ミスアライメント

自励力によるトラブル： 回転軸の回転数や外力の振動数とは全く無関係に回転軸の固有振動数又は危険速度、もしくはその付近でふれまわるとようなメカニズムにより発生する。 すべり軸受のオイルホワールなどがある。

|                         |  |  |
|-------------------------|--|--|
| シートNO.<br><br>5 - 1 - 2 | <u>回転機械から発生する</u><br><br><u>代表的な振動と周波数特性</u> |  |
|-------------------------|--|--|

回転機械に生じる異常振動

回転機械にはその種類、製作過程、使用環境により種々の異常現象が発生する。図5-2は、製鉄所内にある回転機械に発生する主な異常現象と、総異常発生数に対する各異常の発生割合を示す。

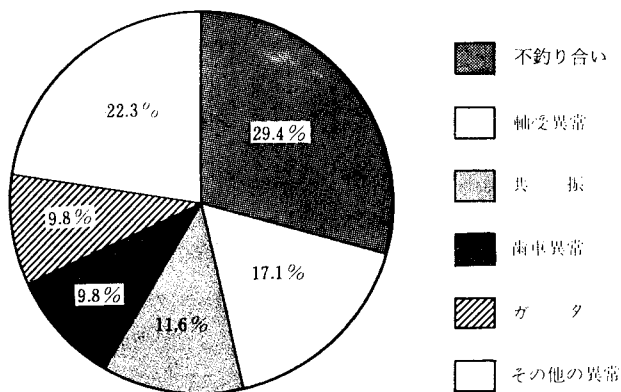


図5-2 回転機械に生じる異常振動

| 機械要素     | 異常振動の周波数領域   |
|----------|--------------|
| 回転体      | 低周波          |
| カップリング   | 低周波          |
| プーリ・ホイール | 低周波・中間周波     |
| 転がり軸受    | 低周波・高周波      |
| すべり軸受    | 低周波・高周波      |
| 歯車       | 低周波・中間周波・高周波 |

<メモ>

---



---



---



---



---



---

|                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
| シート N O.<br><br>5 - 1 - 3 | <u>機械設備に発生する振動</u><br><br><u>低周波振動・中間周波振動・高周波振動</u> |  |
|---------------------------|---|--|

低周波振動

強制振動

回転数に影響される

アンバランス・ミスアライメント・ガタ

自励振動

回転軸など固有振動数に影響される。

オイルホワール・ビビリ

中間周波振動

歯車のかみ合い

回転数 × 歯数

ファンのパス周波数

回転数 × 羽根枚数

圧力脈動

回転数 × ランナ枚数

高周波振動

転がり軸受の損傷

周波数領域に  
よる分類

| 振動の種類  | 周波数領域        |
|--------|--------------|
| 低周波振動  | 回転周波数の5倍程度   |
| 中間周波振動 | 数 k H z 程度まで |
| 高周波振動  | 1 k H z 以上   |

<メモ>

強制振動については、5 - 2 - 1 を参照

自励振動については、5 - 2 - 3 を参照

---



---



---



---



---

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| シートNO.<br><br>5 - 2 - 1 | <u>回転機械から発生する振動</u><br><br><u>低周波振動</u> |  |
|-------------------------|---|--|

強制振動（共振）

不釣り合い振動、流体振動、電磁振動、地震または他の機械からの振動伝播といった振動である。機械が回転することにより発生した不釣り合い力が機械を振動させたり、外部からの力が機械を振動させる場合をいう。

振動数は、不釣り合い力や外力の振動数に等しいか整数倍の関係がある。また、それらの振動数が回転軸の固有振動数に等しいと、振動が非常に大きくなる。この状態を共振という。

機械の回転数に関する異常例

(1) アンバランス

ロータの作製時や組立時の精度により生じた誤差、及び運転時の摩耗や腐食による形状の変化・変形が原因で、そのロータの中心と重心がずれた状態をいう。

- ① 回転軸の偏心
- ② ウェブの偏肉
- ③ 偏摩耗
- ④ 部材の欠損・欠陥

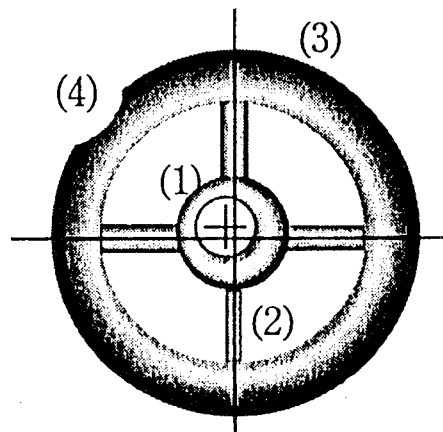


図5-3 アンバランスの要因

<メモ>

・ロータとは、機械部品で定まった回転軸をもつものをいう。

---



---



---



---



---

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| シートNO.<br><br>5 - 2 - 2 | <u>回転機械から発生する振動</u><br><br><u>低周波振動</u> |  |
|-------------------------|---|--|

(2) ミスアライメント

カップリングで結合されている二つの回転軸の回転中心が一直線になるように、それぞれの軸受の位置を調整することである。ミスアライメントとはその調整が不十分の状態をいう。

- ① 偏心 (二軸が平行にずれる)
- ② 偏角 (二軸が角度を持っている)
- ③ 偏心と偏角の組み合わせ

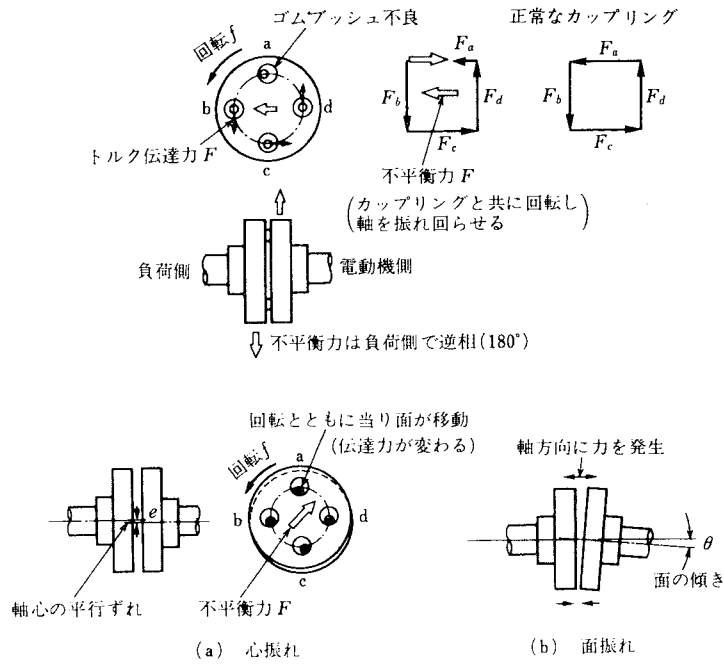


図5-4 軸心不一致による振動

<メモ>

---



---



---



---



---



---

|                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| シートNO.<br><br>5 - 2 - 3 | <u>回転機械から発生する振動</u><br><br><u>低周波振動</u> |  |
|-------------------------|---|--|

(3) ガタ

ボルトの締付け不良などによって発生する。アンバランスやミスアライメントといった強制力の他に重力の影響も受ける。

重力が遠心力に打ち勝っている場合には、アンバランスと同じような現象は発生せず、ガタの影響は見られない。しかし、回転数の上昇・アンバランスの増大により遠心力が重力に打ち勝つとガタ振動が発生し始める。

(4) 自励振動と不安定現象

自励振動と不安定現象は、回転軸の回転数や外力の振動数とは全く無関係に、回転軸の固有振動数・危険速度、またはその付近でふれまわるようなメカニズムの存在によって特徴づけられている。

回転軸の自励振動は、その回転数と危険速度とが一致しても振動は発生しないが、ある回転数で突然振動が増え、それからしばらくは回転数の増加と共にゆるやかに振動は増え続ける。

自励振動の例

すべり軸受に発生するオイルホワール（オイルウィップ）  
ビビリ振動

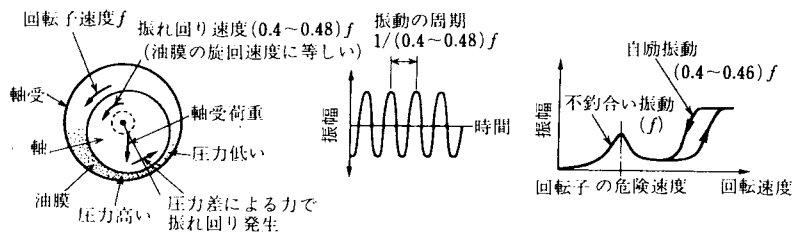


図5-5 オイルホワール

<メモ>

固有振動数

危険速度

---



---



---



---



---



---

|                         |                                 |  |
|-------------------------|---------------------------------|--|
| シートNO.<br><br>5 - 2 - 4 | 低周波振動の解析事例<br><br><u>アンバランス</u> |  |
|-------------------------|---------------------------------|--|

片吸い込み渦巻きポンプの例  
仕様

モータ 7.6 kW 6P (回転数 1155 rpm)

基本周波数 : 19.25 Hz

振動の測定レンジ

振動速度 (L0 Ave) 水平方向 (H)

図5-6は、正常時のスペクトルである。回転数の周波数成分  $f_0$  は -57dB と小さい。  $4 \times f_0$  (羽根枚数 4枚  $\times$  回転数) の振動数が出ているがこれは異常ではなく当然発生しうるものである。

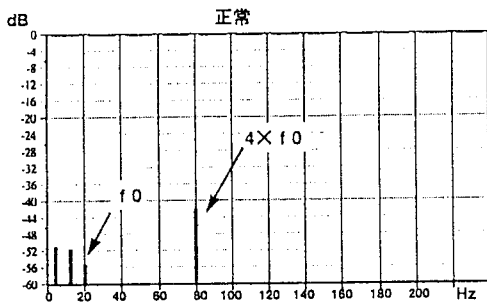


図5-6 正常時

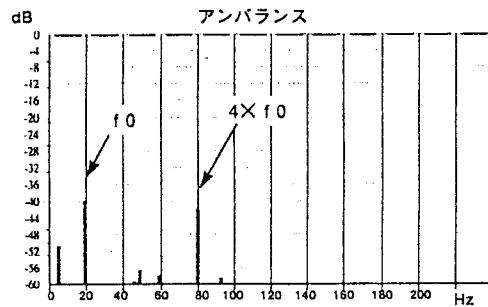
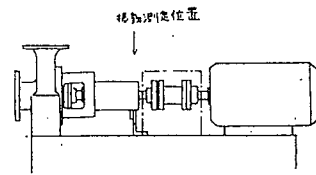


図5-7 アンバランス発生時

アンバランスの発生によって、 $f_0$ 成分が増大、インペラ振動の大きさは変わっていない。

アンバランスの発生は  $f_0$ 成分が増大する。



<メモ>

---



---



---



---



---

シートNO.

5-2-5

### 低周波振動の解析事例

#### ミスアライメント

片吸い込み渦巻きポンプの例  
仕様

モータ 7.6 kW 6P (回転数 1155 rpm)

基本周波数: 19.25 Hz

振動の測定レンジ

振動速度 (L0 Ave) 水平方向 (H) 軸方向 (A)

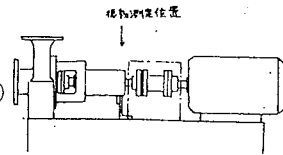


図5-8は、ミスアライメント発生前後の振動スペクトルである。

回転数の周波数成分  $f_0$  は -57dB と小さい。

$4 \times f_0$  (羽根枚数4枚  $\times$  回転数) の振動数が発生している。

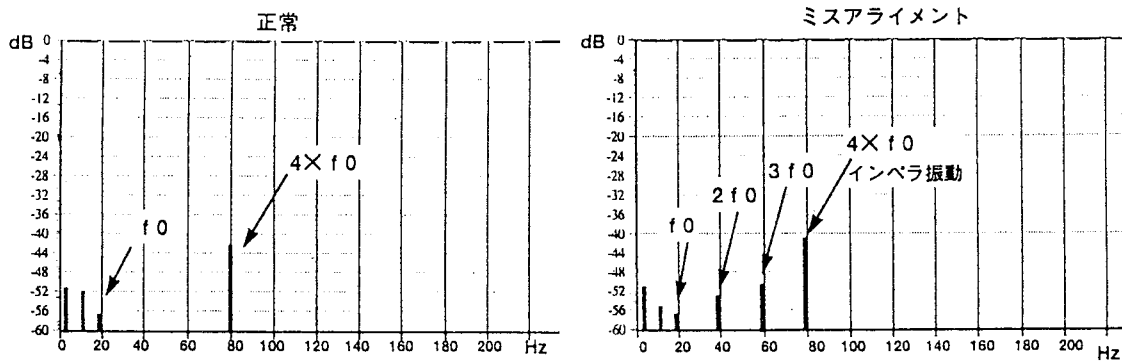


図5-8 ミスアライメント発生前後の振動スペクトル

ミスアライメントの発生により  $2 \times f_0$  成分が増大している。ミスアライメントによるガタも併発しているため、 $3 \times f_0$  も増大している。

ミスアライメントの発生により  $2 \times f_0$  成分が増大し、ガタが併発している場合は、高調波・分調波の発生も起こる。

<メモ>

高調波: 回転周波数  $f$  の  $2f \cdot 3f \dots$  の周波数成分

分調波: 回転周波数  $f$  の  $1/2 \cdot 1/3 \dots$  の周波数成分



シートNO.

5 - 3 - 1

回転機械から発生する振動

中間周波振動

中間周波振動

歯車

歯車系に発生する基本的な振動は、歯車のかみ合い振動数である。振動数は、歯数と回転速度の関係からなる。その振動数は歯の連続的なかみ合いによるもので、下の式から求めることができる。

$$f = \frac{N}{60} \times Z \quad (\text{Hz})$$

f : 歯車のかみ合い振動数  
N : 軸の回転数 (rpm)  
Z : 歯数

かみ合い振動の波形

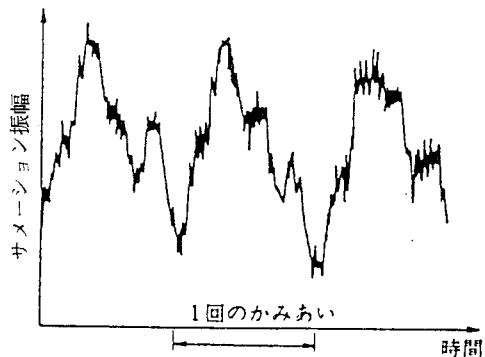
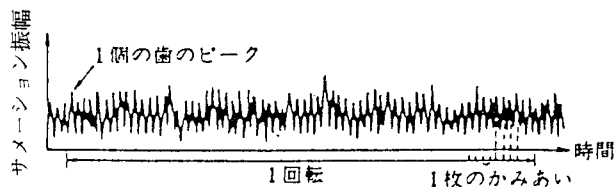


図5-9 70枚のかみ合い振動が一回転中に現れている

図5-9は、かみ合い振動を時間平均化処理した波形であるが、70枚のかみ合い振動が一回転中に現れている。

右図は、その波形を拡大したものである。

<メモ>

サメーション：時間平均化処理ともよばれ入力信号をある時間間隔でブロックに分け、それを加算して行くことにより不規則成分が消えてブロックの時間間隔での周期成分が強調される方法である。

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
| シート N O.<br><br>5 - 4 - 1 | <u>回転機械から発生する振動</u><br><br><u>中間周波振動 歯車の欠陥解析事例</u> |  |
|---------------------------|--|--|

歯車の欠陥解析事例

減速装置の歯欠けが一枚発生したときの正常時との比較

回転数  $N = 506 \text{ rpm}$   $Z = 40$  枚を

前項の式に代入して  $f = 332 \text{ Hz}$  となる。正常時ではその加速度の値が  $0.2 \text{ G}$  であるが一枚欠けた状態では  $0.46 \text{ G}$  に増加していることが分かる。

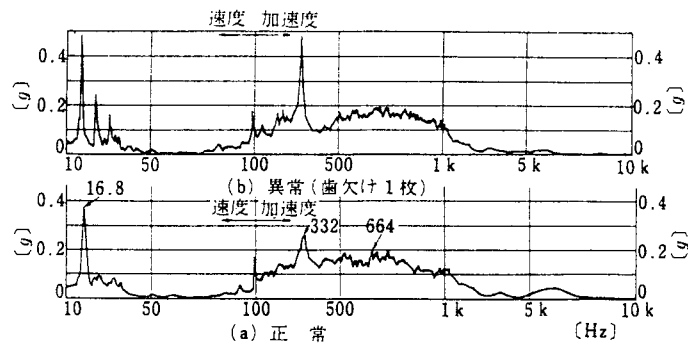


図5-10 正常時と異常時のスペクトル

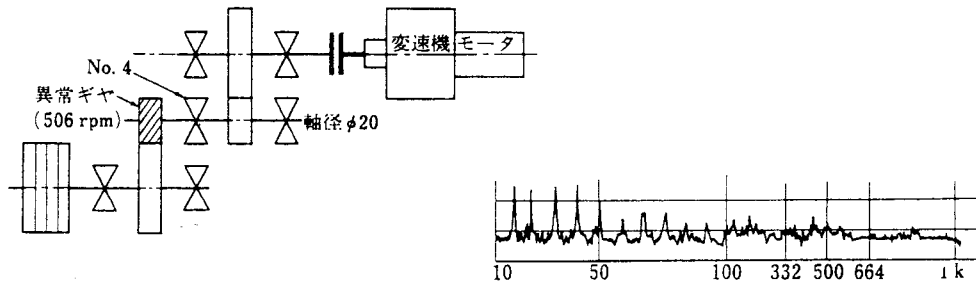


図5-11 歯欠けのスペクトル

<メモ>

---



---



---



---



---



---

|   |  |  |
|---|--|--|
| シート N O.<br><br>5 - 5 - 1   | <p style="text-align: center;"><u>回転機械から発生する振動</u></p> <p style="text-align: center;"><u>高周波振動</u></p> |  |
| <p>高周波振動<br/>         転がり軸受からの振動</p> <p>転がり軸受が正常で組付けが良好なら、なめらかに回転し、振動や音は非常に少ない。しかし、何らかの原因で転動面に欠陥が生ずると、その部分を転動体(ローラ・ボール)が通過するたびに衝撃が伴い、振動と音が大きくなる。その衝撃時間は非常に短く、軸受の大きさにもよるが内径 35 mm、外径 72 mm 程度の軸受で 10 <math>\mu</math>s 程度である。</p> <p>この衝撃波をインパクトパルスといい、周波数範囲は、100 kHz から数千 Hz にまで広がっている。</p> <p>振動発生の要因</p> <p>① 転動体通過振動</p> <p>正常な軸受でも、内・外輪間を転動体が回転しながら移動して行く際に、転動体の径と内・外輪の内径・外径間のわずかなクリアランスと荷重の方向によって両輪が変形し発生する振動である。</p> <p>② 固有振動</p> <p>転動体と転動面(軸受の内・外輪)の接触が衝撃的な場合、それぞれが励振され固有振動数で振動する。</p> |  |  |
| <p>&lt;メモ&gt;</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>   |  |  |

シートNO.

5 - 5 - 2

回転機械から発生する振動

高周波振動

③ 応力振動

転動体と転動面の局所的な接触によって応力が発生し、それによって発生する振動は、転動体と転動面の間で伝播・反射を繰り返し、②の固有振数の高次のもとで共振状態にさせる。

④ 損傷による振動

転動体と転動面との表面が剥離したり大きなストレスを受けて割れ・欠けなどが発生して生じる振動である。

⑤ 転動体の異常運動

製作組込み不良により転動体の異常運動によって生じる振動。

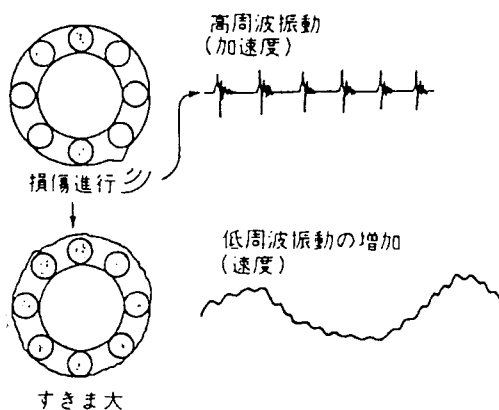


図5-12 軸受からの振動

<メモ>

---

---

---

---

---

---

|                           |              |  |
|---------------------------|--------------|--|
| シート N O.<br><br>5 - 5 - 3 | <u>高周波振動</u> |  |
|---------------------------|--------------|--|

転動体通過振動

転がり軸受の内輪・外輪や転動体に損傷があると、軸が回転することによって接触し機械的な衝撃振動が発生する。

衝撃波（インパクトパルス）の例

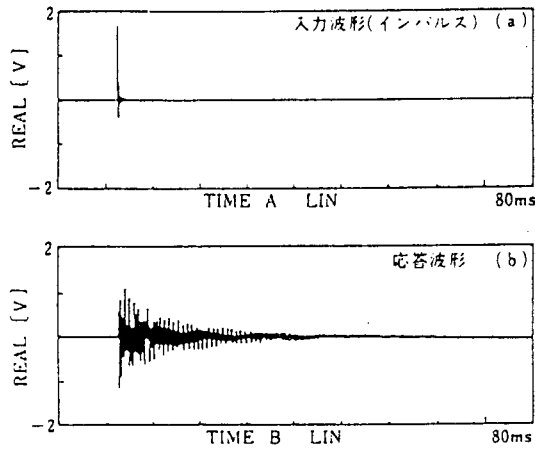


図5-13 インパクトパルスの例

図5-13のように、実際に検出される信号は高周波減衰振動の波形なので、フィルター処理を施し高周波成分を抽出し、絶対値処理・包絡線処理を行うことでもとのインパクトパルスを再現し、解析を行う。

<メモ>

---



---



---



---



---



---