パイプライン動作補足資料　by Fire Wada

［アセンブラコード］

```
            LW   R5, 2004(R0)  --①
            LW   R1, 2000(R0)  --②
            ADD  R3, R0, R0    --③
LOOP1:      SW   R3, 2012(R0)  --④
            SLT  R6, R3, R1    --⑤
            BEQ  R6, R0, +8    --⑥
            ADD  R3, R3, R5    --⑦
            J    LOOP1         --⑧
            ADD  R0, R0, R0    --⑨
```

以下の条件を例に、パイプステージ動作を説明する。 ⑥のBEQは1回目NOT TAKEN(分岐しない)、2回目TAKEN(分岐すると仮定する)。
この条件は過去の中間試験と必ずしも同じでない。

教科書4.1.2に示される4段パイプライン（Fステージ、Dステージ、Eステージ、Wステージ）にて、左記アセンブラーコードを実行する。
構造ハザードは発生せず、教科書図4.6に示されるデータハザードと教科書図4.11に示されるコントロールハザードが発生するとして、パイプライン動作図を作成せよ。ただし⑥のbeq命令は分岐予測なしとする。

1) ⑥BEQは1回目NOT TAKENで、2回目TAKENなので、以下の順に命令が実行される。
①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧→④→⑤→⑥→⑨
2) アセンブラーコードのレジスタのREADを赤、WRITEを青に色付けする。
LWとSWでは、塗り方が異なるので、注意！
3) 以下にデータハザート、コントロールハザードを考えながら、パイプライン動作を記入する。
書き込み（青）レジスタが、Wステージ終了前に、読み出し（赤）レジスタとしてDステージで読みだされると、データハザードとなる。

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	①	F	D	E	W																																				
2	②		F	D	E	W																																			
3	③			F	D	E	W																																		
4	④				F	X	X	D	E	W		③のR3-WRITEを④のR3-READが利用している																														
5	⑤							F	D	E	W																														
6	⑥								F	X	X	D	E	W		⑤のR6-WRITEを⑥のR6-READが利用している																										
7	⑦											X	X	X	F	D	E	W		⑥のPC確定が図4.11により、Wの最後なので																			
8	⑧															F	D	E	W																						
9	④																X	F	D	E	W		⑧のPC確定が図4.11より、Dの最後なので																	
10	⑤																		F	D	E	W																		
11	⑥																			F	X	X	D	E	W		⑤のR6-WRITEを⑥のR6-READが利用している											
12	⑨																									F	D	E	W												
13																																									
14																																									
15																																									
16																																									
17																																									
18																																									
19																																									
20																																									